

Ge-conservación

Conservação | Conservation



Dirección Editorial:	Emma García Alonso
Consejo de Redacción:	Dora Arízaga Guzmán, Ana Bailão, Maite Barrio Olano, Rocío Bruquetas Galán, Pilar Fernández Colón, Rafael Fort González, Laura Fuster López, Silvia García Fernández-Villa, Marisa Gómez González, Ana Laborde Marqueze, Marta Manso, Alfonso Muñoz Cosme, Milagros Palma Crespo
Secretaría de Edición:	M ^a Concepción de Frutos Sanz
Maquetación:	M ^a Concepción de Frutos Sanz
Traducción portugués:	Ana Bailão
Imagen portada:	Campaña de la ESCRBBCCG: Intervención en una firma de Muelle en Vigo. Autora: Andrea Fernández Arcos.

ISSN: 1989-8568



Esta publicación utiliza una licencia Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/).

Se permite compartir, copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra con el reconocimiento expreso de su autoría y procedencia.

No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas.

Esta revista utiliza Open Journal Systems, software libre de gestión y publicación de revistas desarrollando, soportado y libremente distribuido por el Public Knowledge Project bajo Licencia Pública General GNU.



Ge-conservación no se responsabiliza de la información contenida en los artículos ni se identifica necesariamente con ellas.

© La propiedad intelectual de los artículos pertenece a los autores, y los derechos de edición y publicación de este número son de Ge-conservación.

Rogamos que en la difusión libre de los contenidos queden patentes los créditos de los autores y la procedencia.

El Grupo Español de Conservación es una asociación independiente afiliada a *The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works*, inscrita en el Registro Nacional de Asociaciones, Sección 1ª, Nº 160.299. Sede: I.P.C.E. C/Greco, 4 28040 Madrid. Asociación Declarada de Utilidad Pública por Orden del Ministerio del Interior 3404/2009 (BOE 18-12-2009).

Ge-conservación
Conservação | Conservation

www.revista.ge-iic.com

E-mail: revista@ge-iic.org

www.ge-iic.com

E-mail: secretaria@ge-iic.org

Revista indexada en:



Índice

Artículos	Páginas
El retablo de Sta. María Magdalena de la Catedral de Sevilla: Una propuesta de atribución a Alejo Fernández y taller Rafael de Besa Gutiérrez, Paloma Maza Lara, Marta Pertejo Rozas, Ana Isabel Gamero González	7
Quitosán y fluoruro de sodio para la conservación sostenible de restos óseos Luisa Straulino Mainou, Luisa Mainou Cervantes	26
Estudio y conservación de un graffiti. Intervención de una firma de Muelle en Vigo Andrea Fernández Arcos, Sabela Hermelo Veiga	39
El arte urbano y la gestión urbana en la manutención del espacio público. La administración del Paseo Bandera Santiago de Chile Hernán A. Elgueta Strange	48
Diagnóstico ilustrado de la patología del travertino del Centro Histórico de Cuenca (Ecuador) Catalina Beatriz Chimborazo Espinoza, Jenny Fabiola Peralta Viñansaca, María del Cisne Aguirre Ullauri	60
Analysis of the hygrothermal conditions of exhibition spaces for the display of archaeological assets from waterlogged and interstitial contexts. The case of the Multipurpose Room of the Portuguese National Centre for Nautical and Underwater Archaeology João Henrique Marrocano	82
Las obras de arte urbano de Banksy en Bristol y Londres, un nuevo recurso patrimonial difícil de tutelar Francisco Delgado Chica	94
Empleo de microimanes como sistema de unión de injertos durante el tratamiento de reintegración: retrato escultórico de Jacob Merrill Kaplan y retrato de Jules C. Stein Medina Azahara Rodríguez Rodríguez, Laura Osete Cortina, Xavier Mas-Barberà	110
Evaluación de la efectividad antimicrobiana de la luz UV-C 222 nm como estrategia de tratamiento para la preservación de especímenes biológicos en líquido de la Colección “José Ricardo Cure Hakim” de la Universidad Militar Nueva Granada Maria Alejandra Gonzalez Torres, Nelsy Rocio Pinto Sanchez	121
Conservación crítica: trayectorias del pensamiento contemporáneo desde el Fogg Art Museum’s Department for Technical Studies in the Field of Fine Arts de la Universidad de Harvard (1928) Ana Galán-Pérez	132
Julia Isabel Pernas Bujados (1918-2014). Primera restauradora del Servicio del Tesoro Artístico de Patrimonio Nacional María Concepción García Cabarcos	144
La cámara funeraria de Useramón: trabajos de restauración y conservación efectuados entre 2021 y 2025 en un monumento egipcio antiguo Ignacio Bermeja Gigorro, Lucía Díaz-Iglesias Llanos	156

Monográfico:

II Jornadas de Investigadores Júnior en Patrimonio

Presentación

Laura Maestro-Guijarro, Marina Martínez-Weinbaum, María Teresa Molina 173

Inhibidores de cristalización salina en la conservación de madera y cerámica arqueológicas en las salinas espartinas (Ciempozuelos, Madrid)

Blanca Zarzalejos Vicens, Encarnación Ruiz-Agudo, Sarah Bonilla-Correa 175

La conservación del patrimonio científico-técnico del CSIC

Marta Onrubia Chinarro, Susana Bartolomé Santos y María Teresa Molina 188

Herramientas para la conservación y gestión de colecciones entomológicas: La Colección Luis Jiménez de Asúa de la Universidad Complutense de Madrid

Klo Nieto García y Fátima Marcos Fernández 200

Biocleaning of Paraloid B72 and B82 acrylic resins: an exploratory study on increasing their bioavailability

Fabiana Martín-Caramés, Anxo Méndez, Clara Fernández-Garrido, Icíá Pérez, Patricia Sanmartín 213

¿Qué ocurre cuando sellamos una trasera en pintura sobre lienzo? Estudio de los contaminantes gaseosos a través del pH microambiental

Daniel Morales-Martín, Alicia Sánchez-Ortiz 224

Compuestos orgánicos en plantas yucatecas como base para la identificación de aglutinantes de la pintura mural maya

Jorge Martínez Sales, Claudia A. García Solís, Gloria I. Hernández Bolio 235

Recomendaciones para la eliminación de depósitos calcáreos en cerámica arqueológica

Águeda Sáenz Martínez 248

Machine learning tools for the classification of visible reflectance spectra of inorganic pigments historically used in wall paintings

Jordi Cruz, Roberto Sáez-Hernánd 256

Evaluación de la tecnología láser como método de limpieza para pintura mural al temple

Laura Andrés-Herguedas, José Santiago Pozo-Antonio, Teresa Rivas Brea 265

Productos de limpieza en museos: Evaluación de su idoneidad para objetos de plata

María García Ortúzar, Iván Díaz Ocaña, María Teresa Molina, Blanca Ramírez Barat 275

Artículos



El retablo de Sta. María Magdalena de la Catedral de Sevilla: Una propuesta de atribución a Alejo Fernández y taller

Rafael de Besa Gutiérrez, Paloma Maza Lara, Marta Pertejo Rozas, Ana Isabel Gamero González

Resumen: Tras la reciente restauración del retablo de Sta. María Magdalena de la Catedral de Sevilla hemos realizado un estudio a través del cual hemos podido reconstruir pasajes inéditos de la historia de la obra y efectuar la atribución a Alejo Fernández y a su taller.

Palabras clave: Escuela sevillana de pintura, Sevilla, Alejo Fernández, Catedral de Sevilla, Pintura Flamenca

The altarpiece of St. Mary Magdalene in the Cathedral of Seville: A proposal for attribution to Alejo Fernández and workshop

Abstract: After the recent restoration of the altarpiece of St. Mary Magdalene in the Cathedral of Seville, we conducted a study through which we were able to reconstruct previously unknown passages of the artwork's history and attribute it to Alejo Fernández along his workshop.

Keywords: Sevillian School of Painting, Seville, Alejo Fernández, Seville Cathedral, Flemish Painting

O retábulo de Santa Maria Madalena da Catedral de Sevilha: uma proposta de atribuição a obra de Alejo Fernández e oficina

Resumo: Após o recente restauro do retábulo de Santa Maria Madalena da Catedral de Sevilha, realizámos um estudo através do qual foi possível reconstruir passagens inéditas da história da obra e efetuar a atribuição a Alejo Fernández e à sua oficina.

Palavras-chave: Escola de pintura de Sevilha, Sevilha, Alejo Fernández, Catedral de Sevilha, Pintura Flamenga

Objetivo, problemática y metodología empleada

Ubicado junto al acceso a la Giralda, en la parte interior de la Puerta de Palos, el altar y el retablo de Sta. María Magdalena de la Catedral de Sevilla [Figura 1] han suscitado importantes debates en torno a su datación y cronología. El pésimo estado de conservación y los numerosos repintes han dificultado la posibilidad de efectuar un estudio en profundidad del conjunto, aunque importantes voces que trataremos más adelante, intuían la posibilidad de la participación del maestro Alejo Fernández.

Aprovechando la restauración del retablo hemos completado parte de su historia a través de trabajo de

archivo. Se han localizado nuevas referencias que aportan datos sobre sus fases constructivas, ayudando a la comprensión del conjunto. Añadimos también la búsqueda de posibles fuentes gráficas empleadas originalmente, lo que permite una interesante aproximación al método de trabajo del taller de pintura de la Catedral de Sevilla en el siglo XVI.

Una vez restaurado el retablo, se ha estudiado formalmente el conjunto, sin los repintes que distorsionaban la apreciación de las tablas. Esto nos ha llevado a plantear la atribución del conjunto de las pinturas al maestro Alejo Fernández junto a otros colaboradores de su taller.



Figura 1.- Retablo de Sta. María Magdalena, antes y después de la restauración, Catedral de Sevilla 1537-1543 © Pepe Morón.

La restauración del retablo

El principal propósito a la hora de acometer la restauración del altar de Sta. María Magdalena de la Catedral de Sevilla era recuperar la lectura formal de un bien cultural muy desvirtuado por el paso del tiempo e intervenciones antiguas poco afortunadas. Su aspecto original había quedado alterado y enmascarado bajo sucesivas capas de burdos repintes y barnices oxidados e incluso coloreados. Todas las fases de actuación se apoyaron en los estudios practicados, tales como caracterización de materiales con análisis de micromuestras de pintura, radiografías y fluorescencia ultravioleta. Las técnicas de análisis realizadas sobre las muestras de pintura consistieron en microscopía óptica por reflexión y por transmisión, con luz polarizada, espectroscopía IR por transformada de Fourier, microscopía electrónica de barrido/análisis elemental por energía dispersiva de rayos X (MEB/EDX) y cromatografía en fase gaseosa acoplada a espectrometría de masas. Las decisiones se tomaron en base a los resultados obtenidos. Todas las actuaciones y materiales empleados en las labores de conservación y restauración han contado con los preceptos básicos de compatibilidad y reversibilidad y las reintegraciones se han ejecutado con criterios discernibles.

La analítica de muestras arrojó las siguientes conclusiones generales:

- Se identifica el nogal (*Juglans regia*) como madera constitutiva de las tablas.

- La capa de preparación es un estuco de yeso y cola animal. Se compone principalmente de yeso (sulfato cálcico) y posee abundantes impurezas arcillosas y óxidos de hierro. Va aplicada en dos estratos, siendo el inferior más grueso y con molienda más irregular. El espesor global oscila entre las 200 y 500 μ en las muestras analizadas. Sobre la preparación hay una fina capa de negro carbón vegetal muy molido, al temple de cola animal, que hace las veces de imprimación cromática. Su espesor ronda las 5-10 μ .

- Las capas de color son superposiciones de capas al óleo de aceite de linaza. Los pigmentos hallados en las capas pictóricas son:

- Blancos: albayalde, yeso, calcita.
- Negros: negro carbón.
- Rojos: laca roja, tierra roja, bermellón.
- Azules: esmalte de cobalto, azurita.
- Anaranjados: minio de plomo.

En la superficie aparece un estrato de barniz de resina de copal, sobre el que hay otro de aceite y resina. Éste se encuentra en ocasiones coloreado, conteniendo pigmentos modernos del siglo XIX-XX.

El desmontaje del retablo permitió el tratamiento del soporte lúneo por el reverso y la obtención de las medidas

Retablo de Sta. María Magdalena	
Remate arcosolio: Dios Padre.	1,60 x 36 cm.
Tablas del cuerpo superior: S. Andrés, Sta. Catalina, Sta. Bárbara y Santiago.	90 x 42 cm.
Anunciación.	90 x 95 cm.
Tablas del cuerpo bajo: S. Pedro, S. Bernardo, S. Francisco y S. Pablo.	124 x 42 cm.
Aparición de Cristo a la Magdalena.	124 x 96 cm.
Medidas totales del retablo	3,65 x 2,20 m.
Grosor aproximado de las tablas, entre los 2,8 y los 3,4 cms.	

Tabla 1.- Medidas del retablo.

exactas de cada tabla. Todas presentaban la misma técnica constructiva, grosor similar y reverso de aspecto semejante. Las dos centrales de mayor tamaño, albergaban clavos de forja insertados por el anverso para unir las al barrote trasero horizontal. Esto parece indicar que el conjunto partió de un único taller, al menos en cuanto a técnica constructiva se refiere.

El sistema de montaje original, realizado con travesaños de madera sobre los que se clavaban las tablas, además de muy básico, presentaba un estado de conservación deficiente, con fuerte ataque xilofágico. Se decidió la realización de una nueva estructura portante más estable y menos invasiva respecto a las tablas, diseñada en acero inoxidable AISI 304, muy resistente a la corrosión. Como sistema de sujeción de las tablas se emplearon unas lengüetas móviles que evitaban practicar orificios.

Tras la aplicación de un tratamiento de desinsectación preventiva se inició el tratamiento de los reversos de las tablas, eliminando todos los depósitos de suciedad y consolidando y reparando las alteraciones observadas.

Con el soporte ya estabilizado, se procedió al tratamiento de la capa pictórica, haciendo un sentado de color exhaustivo mediante la aplicación de cola orgánica en caliente, ejerciendo presión y calor, que cohesionó los diferentes estratos (capa de preparación y película pictórica).

Tras la realización de múltiples catas se determinó el método de limpieza química más adecuado, combinado con limpieza mecánica con el fin de preservar veladuras y matices originales. Se eliminaron capas de barniz coloreado, repintes e incluso estucos, que ocultaban restos de la pintura original. Los resultados del estudio radiológico fueron determinantes y de gran apoyo a la restauración, ya que permitían discernir la pintura original bajo las gruesas capas de repintes y de estucos no originales. Gracias a esto, varias tablas han recuperado parcialmente su representación original, como es el caso del *Apóstol Santiago*, en la que los RX mostraban que vestía hábito corto y se distinguían ambas piernas [Figura 2]. En el caso del *San Andrés*, los RX han posibilitado recuperar su iconografía, al mostrar que la cruz, antes de los repintes, era en aspa [Figura 3].



Figura 2.- A) y B) Tabla de Santiago Apóstol antes y después de la intervención; C) Imágen de Santiado por Hans Baldung Grien, 1519, Metropolitan Museum, Nueva York, nº 24.28.13. Espejado para comparativa.



Figura 3.- A) y B) Tabla de San Andrés antes y después de la intervención; C) Imágen de San Andrés por Martin Schongauer, 1480-1485, Petit Palais, París, nº GDUT8640. Espejado para comparativa.



Figura 4.- A) y B) Tabla Santa Catalina de Alejandría antes y después de la intervención; C) Imágen de Santa Catalina de Alejandría por Israhel van Meckenem, 1480-1490, National Gallery of Art, Washington, nº 1943.3.147.

Las pruebas radiográficas han mostrado arrepentimientos en la tabla de *San Bernardo* que originalmente portaría el báculo en la mano contraria. En la *Santa Catalina de Alejandría* se ha podido observar la forma original de las manos y el libro, permitiendo esto eliminar los repintes que las habían reducido a una ínfima calidad. También se ha podido localizar su atributo de la rueda, que luce de forma tímida en un segundo plano, así como una mejor apreciación del personaje pagano al que pisa, sobre todo en ojos y vestimenta [Figura 4].

Se estucaron y enrasaron las lagunas, reintegrándose el color con una base de acuarela y terminación de pigmentos al barniz, empleando en todo el proceso un criterio diferenciativo (*rigattino*) que establece a corta distancia discernibilidad con la pintura original. Paralelamente a la intervención de las pinturas, se restauró la arquitectura del retablo, finalizando el montaje del conjunto el 25 de octubre de 2024.

A continuación se plantea una comparativa a nivel técnico con una obra documentada de Alejo Fernández de muy

cercana cronología. Se trata del retablo de la parroquia de San Juan de Marchena (1521-1533), estudiado por Juan Luís Ravé Prieto (2006) y restaurado en 1999 por la empresa Ágora S.L., que editó en formato CD la memoria de los trabajos (Aguilar 1999). La parte histórico-artística fue redactada por Juan Luis Ravé y Juan Antonio Arenillas, mientras que Juan Aguilar y Bárbara Hasbach fueron los responsables de la parte técnica. La comparativa nos ha ofrecido sólidos paralelismos entre la técnica y los materiales empleados en las tablas de Marchena y las de la Catedral.

Como soporte se emplean maderas nobles muy similares. En el retablo de la Magdalena son de nogal, mientras que en San Juan son de castaño, maderas con ciertas características similares y una estabilidad adecuada. Respecto a la técnica constructiva, se emplean uniones entre tableros reforzadas con estopa y embarrotado posterior, con clavos insertados desde el anverso (en las de mayor tamaño, en el caso del retablo de la Magdalena). El aparejo se realiza con una primera capa de molienda más gruesa de sulfato cálcico (yeso) y cola animal seguida de otra con el grano más fino. Para la capa pictórica, en ambos casos, se aplica una base negro-grisácea al temple, sobre la que se suceden capas de pintura al óleo. Las carnaciones se construyen de forma muy similar, sobre capas de pintura grisácea rematadas por veladuras rosadas. Los pigmentos empleados en la policromía del retablo Mayor de San Juan de Marchena son los siguientes:

- Blancos: Calcita, yeso, albayalde.
- Negros: Negro carbón.
- Rojos: Bermellón, tierra roja, laca roja.
- Azules: Azurita.
- Anaranjados: Minio de plomo.

Si los comparamos con los empleados en el retablo de la Magdalena podemos ver que prácticamente son los mismos, algo que acerca a ambos a una metodología común a la hora de ejecutar los trabajos.

Estudio histórico

El retablo se ubica bajo un arcosolio, parte de la obra dirigida por Juan de Hoces en torno a 1481. Juan de Hoces está documentado como cantero desde 1462 y como aparejador de su suegro, el maestro mayor Juan Norman, desde 1467. Tras la muerte de Norman, sería Hoces quien lo sucedería (Rodríguez Estévez 1996: 56), por lo que desde 1488 figura en solitario como el maestro mayor de la Catedral hasta fallecer en 1496 (Falcón Márquez 1980: 125-126).

Sin embargo, tenemos constancia de la existencia del espacio consagrado a la Magdalena desde mucho antes, gracias a las referencias de dotaciones de capellanías recogidas en el *Curso de los aniversarios y memorias*, mandado elaborar por el cabildo en 1366 y por el *Libro de las dotaciones de la iglesia de Sevilla* de 1411, más conocido como el *Libro Blanco de la catedral de Sevilla*. Al efectuar esta comparativa se ha encontrado

correspondencia entre la capilla de la primitiva catedral mudéjar y la del templo gótico actual, aunque ha sido necesario recurrir a una topografía referencial para poder cotejarlo adecuadamente (Laguna Paúl 2019: 205).

Ortíz de Zúñiga, creemos que siguiendo el *Libro Blanco* (Pérez-Embid 2015: 90), señala la primera dotación a la capilla de la Magdalena en 1252, coincidiendo con la estructuración de Inocencio IV, en la que asigna para uso funerario de miembros de la nobleza las capillas de Santa Lucía, San Bartolomé, San Pedro y la Magdalena (Ortíz de Zúñiga 1677: 33-34). Sin embargo, siguiendo a Pérez-Embid (2015: 92), tendríamos que avanzar hasta 1266 para la primera dotación de aniversario conocida.

Para ubicar el primitivo espacio consagrado a la Magdalena recurrimos al trabajo de Antonio Jiménez Martín (2006) que, reuniendo todas las menciones a capillas en los documentos de los siglos XIII y XIV, desarrolla el plano del templo y mantiene la capilla de la Magdalena en su ubicación original [Figura 5].

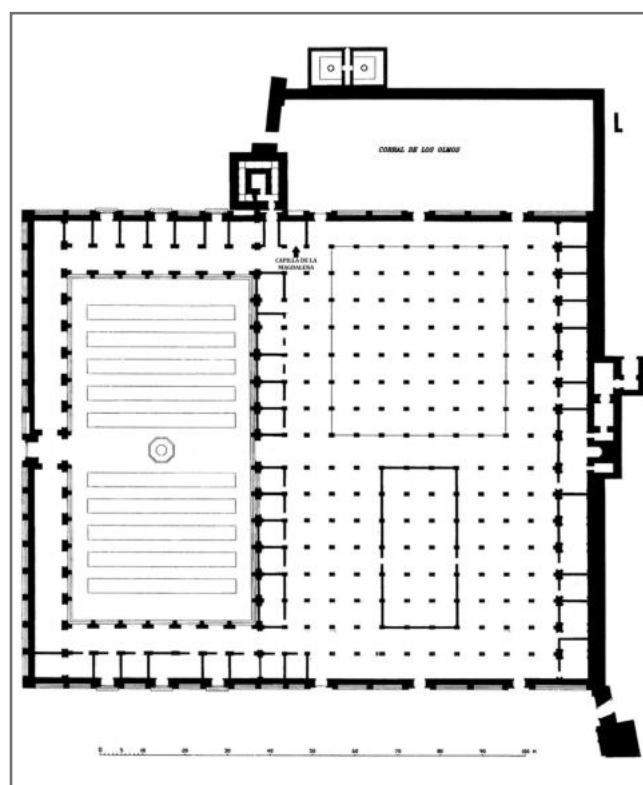


Figura 5.- Planta de la Catedral de Sevilla a comienzos del siglo XV según A. Jiménez.

Gracias al *Libro Blanco* sabemos que el espacio de la Magdalena tenía dote para el arzobispo y formaba parte del recorrido por las capillas que se celebraba en la festividad de "Todos los Santos", siendo esta la cuarta estación y, posteriormente, la quinta (fº 35 rº). También nos brinda un extenso listado de dotaciones que recoge Pérez-Embid (2015: 291-294) quien incluye los nombres de difuntos allí enterrados: (fº 35 rº-36 vº).

Con respecto al altar, ya ubicado en el arcosolio de la obra de Juan de Hoces de 1481, la primera referencia la proporciona Diego Ortiz de Zúñiga, señalando que aquel espacio era fruto de una dotación de capellanía por parte de Pedro García de Villadiego y su esposa Catalina Rodríguez en 1537: "sale al Corral de los Olmos, aunque a sus lados tienen lugar con rexa dos menores Capillas. La de la Magdalena, que dotaron Pedro García de Villadiego y su mujer, el año mil quinientos treinta y siete" (Ortiz de Zúñiga 1677: 433). Este dato vital para la historia de la capilla, es ampliado por Loaysa (1706: 248) con la información del tributo dado de 16.000 maravedís a la fábrica, así como de la inscripción de la lápida: "Esta capilla y enterramiento y bóveda es de Pedro García de Villadiego e de Catalina Rodríguez, su mujer, y de sus herederos, cuyas almas hayan gloria".

Durante años se generó un debate en torno a la autoría del retablo debido a que Ceán Bermúdez, en su obra dedicada a la Catedral, lo atribuyó al pintor Gonzalo Díaz y fechó en 1499: [...] vino de la iglesia vieja: le pintó Gonzalo Díaz el año de 1499 y está dedicado á santa Maria Magdalena. Representa la aparición de Cristo resucitado á esta hermana de Lázaro, la anunciación de la Virgen y varios santos: todo executado con buena gracia de diseño y colorido, pero casi perdido con el tiempo y con los retoques (Ceán Bermúdez 1804: 67).

Dejando de lado atribución y fecha, nos parece importante remarcar que, en estos primeros años del siglo XIX, el retablo ya estaba deteriorado. Estos datos aportados por Ceán serán repetidos sistemáticamente y sin contrastar por autores como Colón y Colón (1841: 38) o Félix González de León (1844: T.II, 54). La atribución a Gonzalo Díaz, que trabajó en la Catedral en el dorado de la peana del retablo mayor (Aranda Bernal 1991: 201-202), es conflictiva, al ser muy pocas las obras conservadas y estar realizadas en su mayoría junto a Nicolás Carlos. Ilustrativos serían el *San Bartolomé de Santa María del Águila* de Alcalá de Guadaíra (Marchena 2012) o el *Santiago y San Juan evangelista* del Museo de Arte de Ponce, Puerto Rico, ambas obras realizadas en un estilo de transición hacia el Renacimiento que dista bastante de las tablas que estudiamos.

Quien daría el dato clave sería Narciso Sentenach al decir que "Gonzalo Díaz pintaba en 1499 el retablo antiguo de la Magdalena, que ha desaparecido" (1885: 32). En efecto, debió existir un primer retablo ejecutado por Gonzalo Díaz en 1499 y, como plantearía Recio Mir (Halcón et al. 2009: 84), terminaría siendo desechado tras la dotación de capellanía de 1537. El trabajo en el Archivo de la Catedral ha permitido la confirmación de esta hipótesis. En los autos capitulares de 1499 el 18 de enero se halla una orden de ejecución de un retablo al mayordomo: "En este mismo día mandato al mayordomo q faga un retablo Sta figura de la Madalena y Sant Bernardo q sea de poqa cofta"¹. Esta referencia deja claro que debió de tratarse de un retablo pequeño y humilde. El que se utilizase el término "sta. figura" podría referirse a una escultura,

pero al exigirse un escaso desembolso, nos parece más coherente que se tratasen de pinturas protagonizadas por María Magdalena y San Bernardo. La ejecución del encargo debió ser en el mismo año de 1499, información que conocemos gracias a Gómez Sánchez, quien localizó un pago a Gonzalo Díaz "el 27 de septiembre del mismo año" (2015: 362).

La historiografía posterior mantendría la atribución del retablo actual a Gonzalo Díaz, como es el caso de José Gestoso (1889-1892: T.II 572), quien dejaría claro que el dato procedía de la crónica de Ceán Bermúdez, dejando entrever que no debía estar totalmente de acuerdo con ello.

Podemos hacernos una idea del estado de conservación de las tablas en aquellos primeros años del siglo XX gracias a las fotografías que realizó José María González-Nandín y Paúl en julio de 1926, localizadas en la Fototeca de la Universidad de Sevilla. En ellas se observan humedades, desprendimientos y roturas e incluso vandalizaciones [Figura 6].

La figura de Alejo Fernández todavía tardaría en ser atendida como merece, destacando el pionero estudio monográfico del profesor Diego Angulo (1946). El primer estudio serio del *retablo de la Magdalena* vendría pocos años después gracias a Chandler Post (1950), quien, mantuvo la posibilidad de la autoría de Gonzalo Díaz, tras haber asimilado los nuevos modos de la pintura del siglo dieciséis, al mismo tiempo que señaló importantes conexiones con Alejo Fernández, afirmando que no le sorprendería que se llegase a descubrir su autoría en el futuro (Post 1950: 136-141). Esta hipótesis sería seguida posteriormente por importantes voces en la materia, como son las de Enrique Valdivieso (1978: 21; 1986: 59) o Juan Miguel Serrera (1984: 380).

Centrándonos en la dotación de la capellanía, hemos localizado un extenso expediente que aporta nueva información. La fundación de capellanías fue un importante fenómeno mediante el cual, aquellos que podían permitírselo, conseguían la garantía de la salvación de sus almas a través de la celebración de misas y otras festividades, evitando así la condena o el Purgatorio. Esta celebración perpetua de misas requería de unos bienes que generasen rentas periódicas, por lo que la dotación de inmuebles era la vía más idónea para garantizar el pago de los gastos y del capellán.

La escritura de dotación de capellanía se hizo por Pedro García de Villadiego y Catalina Rodríguez ante el escribano Pedro de Castellanos el 7 de septiembre de 1537, dándoles desde el cabildo como administrador de la Catedral: [...] el Altar, y Capillas de S^{ta} Maria Magdalena, entrando del Corral de los Olmos por la puerta qe está junto à la Torre à mano derecha antes de llegar à la Capilla del S^{or} Dⁿ Geronimo Pinelo Maestrescuela, y Canonigo para q^e la adornasen, haciendo retablo, y poniendo rexa, y Boveda fuera de la Capilla para su enterramiento, y de sus



Figura 6.- Detalles de fotografías de José María González-Nandín y Paúl, 1-VII-1926. ©Fototeca de la Universidad de Sevilla.

Herederos, y Sucesores, y de quien ellos quisiesen [...]². Es decir, que en 1537 la capilla mantenía la advocación a María Magdalena y precisaba de un nuevo retablo, de ser cerrada por reja y, de hacer el sepulcro.

El tributo para la capellanía fue de 16.000 maravedíes . Aquella dotación fue aceptada por Rodrigo Alonso de Argumedo, arcediano de Niebla en la catedral de Sevilla y protonotario apostólico, el mayordomo Luis de Peñalosa y el canónigo Fernando de la Torre, sobrino del deán del mismo nombre (Duro Garrido 2018: 1160).

Gracias a la documentación de una de las herederas, Juana de Espinosa, conocemos que el retablo se completó en vida de Pedro García de Villadiego, quien fallece en 1543 y, deja como última voluntad, aumentar la dotación económica en otros 4.000 maravedíes³ más: “y esta institución fue hecha en vida del dcho pº de Villadiego quando falleció en su ultima voluntad que fue en año de mil y quis y quarenta y tres aumento otros quatro mil mrs para que le dixesen mas missas en la dha capellania sobre las propias casas donde se pagan los 16 mll mrs”⁴.

El que este aumento de dotación no llegase a hacerse efectivo es lo que motivó a Juana de Espinosa a reclamar el 16 de marzo 1601 que las misas pactadas no se habían estado celebrando durante más de 50 años, lo que la lleva a reafirmar documentalmente esta aportación de 4.000 maravedís más “para descargo de su conciencia”⁵. En la respuesta a la petición de Juana de Espinosa se especificó que en el libro de capellanías constaban 132 misas anuales, número bastante elevado y que, en una anotación del libro blanco fº.179 se dejaba caer que “parece quesos 30_ms son pocos ornamentos y Recaudo para servir la dicha capellania y los otros tres mil para altar y entierro que se le dio para ellos y sus difº”⁶.

Dejando de lado la dotación o el número de misas, este apunte nos ofrece el marco cronológico de la ejecución del retablo, el cual marcamos entre finales de 1537 y 1543, años que coinciden con los que el maestro Alejo Fernández estaba en activo.

Ya entrado en el siglo XVIII tenemos noticias del mal estado en que se encontraban cuando el 18 de Julio de 1760 ordenó el cabildo “q^e las efigies y Pinturas q^e están en el Altar de la Mag^{na} junto a las Puertas de los Palos q^e por su antigüedad y tiempo se hallan desfiguradas o borradas se retoquen y resanen p^a su maior desensia y hermosura y p^a esto dio comicⁿ à los S^{res} de Fab^{ca}”⁷. Es decir, que algunas de las imágenes estaban muy deterioradas, como planteábamos de María Magdalena y Cristo resucitado, situación que llevaría a que fueran repintadas por completo. Aquello se limitaría a un toque de atención, puesto que una anotación en el margen del documento indica que “nada se ha hecho”. El problema se extendió hasta principios del siglo XIX, cuando se nombró en 12 de enero de 1803 a una comisión “p^a remediar la indecencia de los altares y reformar su deformidad”⁸. El informe llegaría el 12 de agosto de 1803, recomendando su destrucción por estar podrido y no haber obra decente: [...] q^e los dos que están à los lados de la Puerta del pie de la torre, sería muy del caso que se suprimieran enteramente [...] pues además de no aver en ellos efigie ni Pintura desente, sus Retablitos aunque pequeños están podridos intensamente; las Rejas necesitan dorarlas y pintarlas; y el suelo y Mesas del Altar hacerlos de nuevo”⁹.

Ante la recomendación de destruir los retablos en mal estado, se dieron cuenta de lo problemático de aquella situación ya que se trataban de dotaciones privadas con enterramientos, como el caso del matrimonio de Pedro García de Villadiego y Catalina Rodríguez, que seguían pagando una “Renta perpetua à la Fábrica”¹⁰. Ante la posibilidad de litigio legal y pérdida de las rentas por las distintas capillas, se retractaron y valoraron “que no hay motivos tan urgentes, ni es tan monstruosa la fealdad de la Yglesia por estas Capillas” teniendo que resignarse a “experimentar con dolor el mismo abandono en que están comumente las demás”¹¹.

El cabildo entendió que era mejor atenderlas. La comisión recomendó que “convendría valdosarlas, para que conrespondiese su solería al pavimento de la Ygl^a, y estuviese

uniforme con las demás Capillas” así como que “no estaría de más resanar algunos lienzos, con tal que no los retocaran algunas manos poco diestras que los hiciese desmerecer, en vez de mejorarlos”. Entendieron que aquellas obras eran responsabilidad de la propia Iglesia y que su decoro repercutiría en la buena imagen de la fábrica, no siendo muy elevado el costo en comparación al beneficio.

La comisión de adecentamiento inició una serie de acciones a lo largo del año 1804 que implicaría una importante reforma en el retablo de la Magdalena. Hemos localizado un pago el 11 de julio al maestro dorador José Caro Ponce de 610.200 maravedies por el dorado del retablo y de la reja: “En 11 de dho = 610.200 m. lib^s ad Jose Caro Ponce y son por el dorado del retablo y reja del altar de S^{ta} Maria Mag^{na} de esta Sta Yg^a”¹³

Esta intervención resultó crucial para el conjunto, ya que, como vimos anteriormente, el retablo original se encontraba dañado. La mazonería pudo ser similar a la de los retablos de Alejo Fernández en San Juan de Marchena o Santiago de Écija, con cresterías góticas, ya que la parte superior de las tablas están rematadas con arcos de medio punto. O tal vez sencilla y renacentista al estilo de la del altar de la Piedad de la misma Catedral. En cualquier caso, José Caro eliminó lo anterior, concibiendo un nuevo retablo neoclásico de líneas esenciales con ornamentación en el cierre en la bóveda. Resulta una arquitectura sencilla pero muy efectiva, que no distrae la contemplación de las tablas. Este dorador se formó en la Real Escuela de Nobles Artes de Sevilla, donde está documentado como alumno entre los años 1782 y 1785: “Dn. Jph. Caro natural de Sev^a hijo de Dn. Jph. y D^a Andrea de Soria”¹⁴.

Es obvio que la intervención no se limitó a la mazonería, ya que los repintes de las tablas son evidentes. Y existe testimonio de su pago: “En 11 de dho mes se dio Libranza a D. Josef Caro Ponce Maxo, Dorador de mil y ocho cientos reales que valen 610.200 mrs que los ha de a ver por el dorado del Retablo y Reja de la Capilla de Sta. Magdalena junto a la Puerta del pie de la torre desta Sta. Yg^a yncuso el costo de una Pintura del Salv^{or} que nuevamente se a pintado en él p^{or} Dⁿ Juan de Escacena”.

Desconocemos la cantidad que Escacena cobraría por su trabajo, pero ya podemos confirmar que trabajó junto a José Caro, quien fuera su compañero de promoción en la Escuela de Nobles Artes¹⁷. Ambos ya habían trabajado juntos previamente como iluminadores de los bastidores, telones y bambalinas del Teatro Cómico (Plaza Orellana 2010: 554).

Hemos encontrado a Juan de Escacena en 1804 realizando otros trabajos en la Catedral, como el pintado de la puerta del Sagrario, de las cancelas de la Puerta de Campanilla y del dorado de clavos de todas ellas¹⁸, así como del “pintado de la puerta grande de la Sta. Yglesia, dorado de clavos y 9 puertas del cuerpo de verde”¹⁹. También intervendría en este mismo año en el retablo de San José en el dorado de



Figura 7.- *Dios Padre*, posiblemente Juan Escacena, 1804, ©Pepe Morón.

bazas y capiteles (Recio Mir 1998: 257). Fechada también entre 1804 y 1805 tenemos la que quizás es su obra más famosa, la *Vista de la Sta. Yglesia de Sevilla* por la parte de Levante grabada por Manuel Salvador Carmona²⁰.

Durante la invasión francesa hubo importantes cambios en el profesorado de la Real Escuela de las Tres Nobles Artes de Sevilla, momento en que Juan de Escacena accedió para sustituir al "Teniente Director de Pintura Dn José Guerra [...] durante su enfermedad"²¹, puesto que mantendría hasta su fallecimiento en 1814 (Ossorio y Bernard 1883-1884: 198).

Al intervenir Escacena el conjunto que estudiamos debió encontrarse con la tabla del *Noli me Tangere* [Figura 8] tremendamente afectada, con pérdidas tan importantes

que le motivaron a volver a pintar las figuras, respetando el paisaje al estar en mejor estado. La denominación de "Salvador" que se indica en el pago solía utilizarse en la época para referirse a la representación de Cristo resucitado.

Esta intervención incluiría además el añadido del *Dios Padre* que encontramos en el tímpano [Figura 7], un medio punto ejecutado al óleo sobre lienzo y pegado sobre tabla cuyos rasgos apuntan a la autoría de Escacena. Se trata de un añadido completamente nuevo ya que no existía pintura anterior bajo ella. Desconocemos si en origen existía otra representación en este espacio que se hubiera perdido completamente, o que esta sea fruto de la adaptación a la nueva mazonería neoclásica.



Figura 8.- Tablas de la parte inferior del Retablo de Sta. María Magdalena © Pepe Morón.

Estudio artístico e iconográfico

La tabla central de la parte baja [Figura 8] da nombre al conjunto del altar, mostrando la aparición de Cristo a María Magdalena, pasaje conocido también como “Noli me tangere” y que suele implicar el intento por tocar al resucitado, cambiado aquí por actitud de oración y respeto. Delante de ella está el frasco de perfume para ungir el cuerpo de Cristo, quien aparece ya resucitado de forma triunfal portando el estandarte y manto de color rojo. El pintor sigue los modelos de las estampas de Martin Schongauer para el Resucitado y de Ulrich Pinder para María Magdalena [Figura 9]. El fondo suele ser un huerto, aunque aquí se recurre a un paisaje muy del gusto

flamenco, con castillos, de tonos fríos y protagonismo de las transparencias y del *sfumato*.

La intervención de Escacena palidece en comparación con las tablas de la parte superior. Quizás en el Resucitado se puede intuir el elegante dibujo original, que debió ser similar al de las dos versiones de la *Incredulidad de Santo Tomás* de Alejo Fernández (Santiago en Hinojos y Monasterio de Santa Clara de Moguer). Se han recuperado de la pintura original las llagas de pies y manos, así como el intenso cromatismo de la túnica.

La fisonomía de María Magdalena debió ser en origen semejante a la atribuida a Alejo Fernández del cercano



Figura 9.- Modelos relativos a la tabla del Noli me tangere: A) Noli me tangere, Martín Schongauer, 1470-1474, Metropolitan Museum, Nueva York, nº 32.64.2. Espejado para comparativa. B) Ulrich Pinder, de libro *Speculum passionis domini nostri Ihesu Christi*, 1507, Metropolitan Museum, Nueva York, nº 19.52.60. C) Altar de la Piedad, Alejo Fernández, Catedral de Sevilla, 1527, fotografía propia.

Altar de la Piedad (Serrera 1984: 380). El dibujo preciosista de este último se ha perdido, y los repintes mostraban tonos oxidados. No solo se ha recuperado la pureza de los blancos, sino también las transparencias de la cofia que ahora permiten intuir los cabellos de María Magdalena.

Detrás de María Magdalena tenemos una fuente, elemento problemático ya que era habitual en las estampas utilizadas para ilustrar este pasaje. Iconográficamente la entendemos como parte del huerto: “Ella, pensando que era el que cuidaba el huerto, le dijo [...]” (Juan 20:11-18) y con el significado de “fuente de la vida”. Esta zona de la pintura estaba muy dañada, y los repintes de tonos pardos y negruzcos ocultaban la vegetación que hoy podemos contemplar. Cabría plantear la hipótesis del añadido de la fuente por parte de Escacena, dada la discreta ejecución y la interrupción del paisaje con la tabla de San Francisco de Asís [Figura 8], lo que no sucede con la de San Bernardo, aunque este extremo no podemos confirmarlo.

Flanqueando al *Noli me tangere* se ubican dos tablas dispuestas simétricamente y que representan a dos santos acompañados por donantes, así como sendos rompimientos de gloria. A la derecha tenemos a *San Bernardo con Pedro García de Villadiego* [Figura 10]. En la bibliografía, tradicionalmente se había catalogado como San Benito (Valdivieso 1986: 59), pero se ha recuperado el blanco inmaculado del hábito de San Bernardo. Tal y como vimos anteriormente, María Magdalena y San Bernardo eran los protagonistas del primitivo retablo de Gonzalo Díaz, motivo por el cual se ha incluido en el altar actual. Portando un báculo de minuciosa factura dirige la mirada al cielo, contemplando la aparición de la Virgen María con el niño Jesús en brazos, haciendo efectivo el pasaje de la *Lactatio Bernardi*. Tras la reciente intervención han salido

a la luz los tonos pasteles y los resplandores dorados que enmarcan a la aparición, pudiendo establecerse el paralelo con la aparición en la *Visión de San Juan* del Retablo de la *Virgen de los Mareantes* del Alcázar de Sevilla.

También se ha recuperado el rostro original del donante, más realista y dulcificado, el cual sabemos ahora que fue realizado en vida. Aquí sigue la tradición de este tipo de representaciones, donde se nos presenta, no como un modelo a seguir ya que para eso está el santo protector, sino como una invitación al rezo por su alma. La escala no es tan reducida como en las primitivas obras de Alejo Fernández, sino que lo podemos ver muy en la línea de otros donantes coetáneos, como los casos de Benito de Benavides (Capilla de los Benavides, iglesia prioral de Sta. María de los Milagros, El Puerto de Santa María, 1530-40) o el de Micer García de Gibraleón (Capilla de las Doncellas, Catedral de Sevilla, 1534), este último atribuido a Cristóbal de Morales (Ollero Pina 2016: 379).

En la pintura contrapuesta tenemos el mismo esquema invertido con *San Francisco y Catalina Rodríguez* [Figura 8], representando el pasaje de la estigmatización tras la aparición de un serafín crucificado de seis alas. Se ha recuperado la sangre de estos y una garza que tira del característico cordón franciscano, funcionando como elemento parlante del apellido García y alusión al sermón a las aves. Se debió recurrir a la estampa anónima impresa por Juan de Porras en 1511, al igual que en la *Estigmatización de San Francisco de Asís* del Museo Lázaro Galdiano atribuida a Alejo Fernández. Doña Catalina Rodríguez ha recuperado sus facciones originales y nos la encontramos arrodillada en actitud de oración, vestida con austeridad y con la cabeza cubierta por una cofia que ha recuperado su pureza. Al igual que con su esposo, podemos ponerla en relación con otras donantes de la órbita de Alejo Fernández, como Leonor Torreros en la Capilla de los Benavides o de Mencía de Salazar del altar de la Piedad de la Catedral.

En ambas tablas el paisaje conecta con la escena central [Figura 8], solo interrumpiéndose por el añadido de la fuente, con un desarrollo orgánico de gran elegancia y preciosismo, que muestra actualmente tonalidades y transparencias tan del gusto del renacimiento septentrional. Arboledas de precisas y rápidas pinceladas albergan ruinas al más puro estilo flamenco, creando efectos oníricos que podemos apreciar también en la Anunciación del Museo de Bellas Artes de Sevilla.

En el segundo cuerpo se halla la *Anunciación* flanqueada por *Santa Catalina* y *Santa Bárbara* [Figura 11], tablas que antes de la intervención ya dejaban entrever su altísima calidad. Tras la restauración se nos presentan como auténticas obras maestras de un gusto muy del renacimiento flamenco y cuyos rasgos apuntan a la factura del maestro Alejo Fernández.

La pintura de la Anunciación es la mejor del conjunto, con un interesante desarrollo escenográfico que, carece de la monumentalidad arquitectónica de otras obras de Alejo

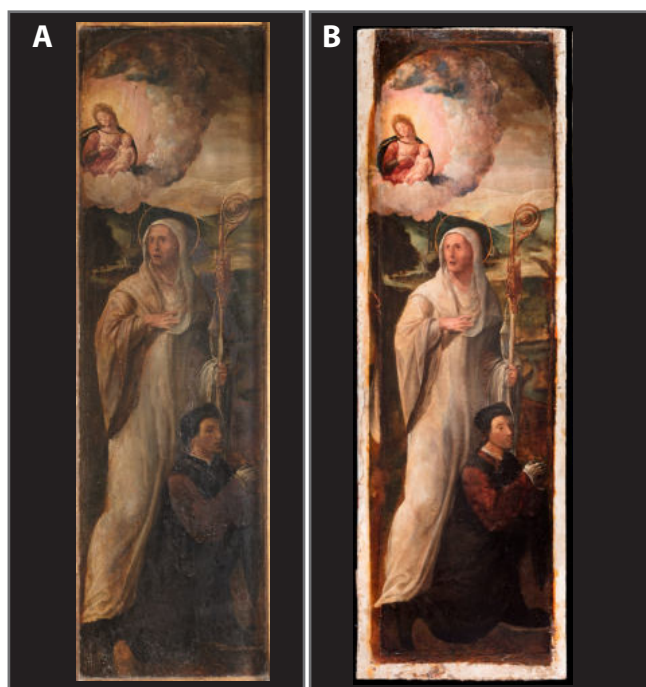


Figura 10.- San Bernardo con Pedro García de Villadiego. Antes y después de la intervención



Figura 11.- Tablas parte superior del Retablo de Sta. María Magdalena, fotografía de Pepe Morón.



Figura 12.- Fuentes utilizadas para la tabla de la Anunciación. A) Alberto Durero, 1506-1508, National Gallery, Washington, nº 1941.1.33; B) Detalles de la Anunciación; C) Martin Schongauer, 1450-1491, Museum of Fine Arts, Budapest, nº6; D) Diego de Sagredo. *Medidas del romano*. Toledo: Remon de Petras, 1526. Universidad de Salamanca, BG/36176(2); E) Detalle del retablo de las Doncellas, atribuido a Cristóbal de Morales, Catedral de Sevilla, 1530-1534.

pero otorga el protagonismo a las figuras. Hace gala de un dibujo preciosista y un buen manejo de la perspectiva, configurando los espacios con una combinación de arquitectura y paisaje de fuerte carga simbólica. En primer plano la estancia de la Anunciación y, al fondo, un desarrollo paisajístico tras una barrera pétrea que configura el hortus conclusus. Esta separación entre el ámbito divino y el terrenal se constituye gracias a un muro bajo con torres, elementos defensivos con una clara alusión simbólica a la castidad de la Virgen, inexpugnable como una fortaleza, cual torre de David en el *Cantar de los Cantares*. Sobre ella sobresalen árboles, que hacen alusión a las virtudes de María. La puerta de entrada? se encuentra abierta, alusión a María entendida como la puerta del Paraíso o del Edén (Ávila 1993:72). Para su diseño debió seguir los modelos de Diego de Sagredo en las *Medidas del romano*, vista la similitud con la traza del sepulcro de Juan Rodríguez de Fonseca (1526: 5) [Figura 12].

Las columnas abalaustradas del interior también provienen de este mismo tratado (Sagredo 1526:36), siendo frecuentes en la obra de Alejo Fernández y su taller, pudiendo encontrarlas en la coetánea *Capilla de las Doncellas* de la Catedral de Sevilla, obra atribuida a Cristóbal de Morales (Serrera 1984: 380-384). La rotundidad y el tono rojizo con remates dorados nos remite claramente a la *Anunciación* del Museo de Bellas Artes de Sevilla. El mensaje de la castidad y pureza se refuerza con la ubicación en un plano intermedio del jarrón de azucenas, en eje con la puerta del hortus conclusus.

Para el arcángel san Gabriel se inspira de la estampa de la *Anunciación* de Alberto Durero donde el arcángel inicia la genuflexión. También toma elementos de la arquitectura, como el tondo que incluye a Judith y Holofernes y que aquí pasa a representar al Rey David y a Jeremías, cuya relación se centra en la profecía sobre el trono davídico y la promesa

de un reino eterno para la descendencia de David, que se cumple en Jesucristo. Jeremías, como profeta, reiteró esta promesa, mientras que David, como rey, fue el punto de partida de esta línea real. El mensaje de la venida del Salvador se complementa con la introducción de Moisés, que muestra las tablas de la ley en una hornacina. Moisés predijo la llegada de un profeta futuro y además, su la visión de la zarza ardiendo sin consumirse es una alegoría de la virginidad de María, que recibe el fuego del Espíritu Santo y concebirá a Jesús sin perder su castidad.

El arcángel San Gabriel es clave para la atribución de la pintura a Alejo Fernández. Su juventud y belleza etérea transmiten la serenidad espiritual que requiere la escena. Porta una diadema rematada en cruz con joyas, presente en todas las representaciones del maestro Alejo. A pesar de la diferencia cronológica con la Anunciación del Bellas Artes de Sevilla, vemos una gran conexión entre ambas, sobre todo en la minuciosidad de cabellos y rostro. De distinto formato, podemos incluir la versión del *Libro de Coro nº51* de la Catedral de Sevilla (Marchena 1998: 119), donde el arcángel adopta la misma postura. Por otro lado, el perfil y la disposición que tiene el ángel del *Bautismo* de San Juan de Marchena es exacto al de esta obra, siendo ambas coetáneas [Figura 13].

Para la Virgen recurre a Martin Schongauer [Tabla 12], solo modificando el brazo derecho que se separa del pecho para dejar libre la conexión con el Espíritu Santo. La belleza juvenil del rostro, llena de elegancia y espiritualidad, es testimonio del estilo final del maestro, en el que los rasgos se tornan más dulces, acercándose a las obras de artistas flamencos tales como Cornelis Engebrectsz, Gerard David o Hans Memling. Observamos una belleza idealizada, en la que el gusto nórdico se observa en las mejillas rosadas, cabellos ondulados de gran minuciosidad, pequeños ojos almendrados, pequeñas bocas con toques de carmín y prolongadas frentes despejadas.



Figura 13.- Ejemplos de paralelismos del arcángel: A) Anunciación del Museo de Bellas Artes de Sevilla, 1508; B) Libro de coro nº51, Catedral de Sevilla, 1514; C) Bautismo de Cristo, retablo de San Juan de Marchena, 1521-1533; D) Altar de la Magdalena, Catedral de Sevilla, 1537-1543.

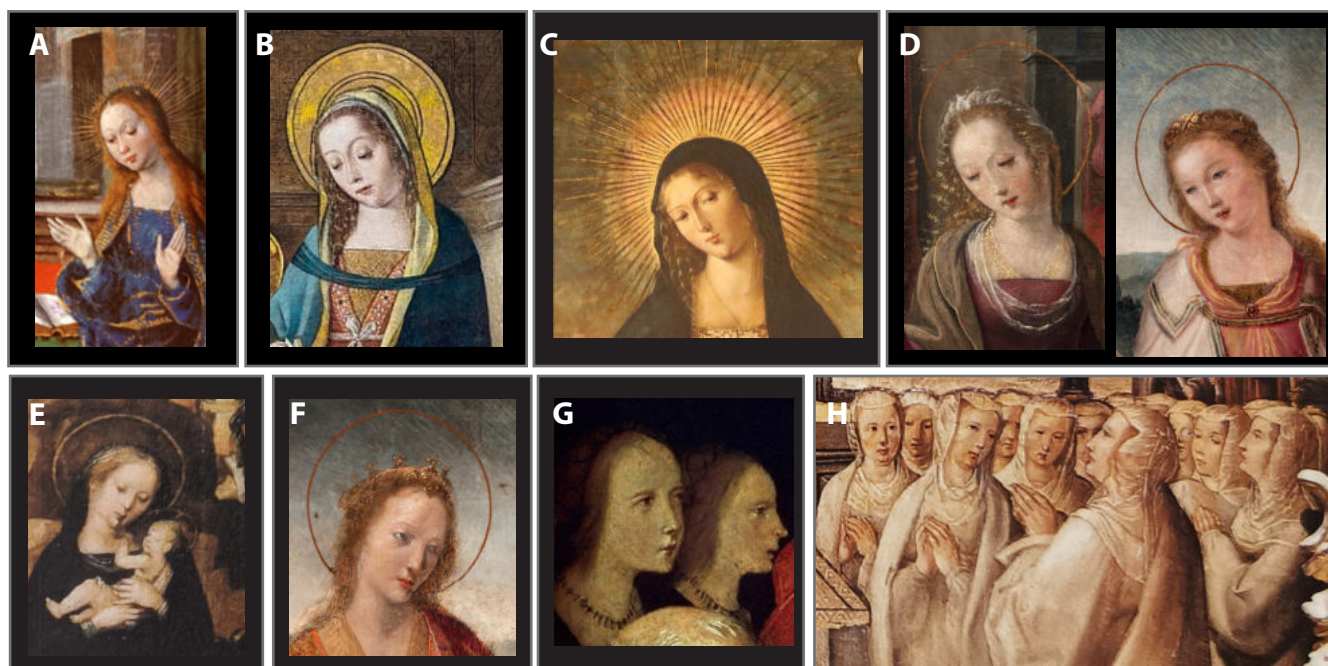


Figura 14.- Selección de retratos femeninos de Alejo Fernández: A) Anunciación del Libro de coro nº 51 de la Catedral de Sevilla, 1514; B) Virgen con niño y donantes, Palacio Arzobispal de Sevilla, 1520 aprox; C) Virgen de los Mareantes, Alcázar de Sevilla, 1535; D) Virgen de la Anunciación y Sta. Bárbara, Altar de Sta. María Magdalena, Catedral de Sevilla, 1537-1543; E) Descanso en la Huida a Egipto, San Juan Marchena, 1521-33; F) Sta. Catalina, Altar de la Magdalena, Catedral de Sevilla, 1537-1543; G) Detalle de la Virgen de los Mareantes, 1535; H) Detalle del retablo de las Doncellas, atribuido a Cristóbal de Morales, Catedral de Sevilla, 1530-1534



Figura 15.- Santa Bárbara. Antes y después de la intervención. Maestro ES, 1461, British Museum, nº 1857,0520.11. Espejado para comparativa.

Los mejores ejemplos de esta tendencia se pueden encontrar en *Santa Catalina* y *Santa Bárbara* que flanquean esta escena, así como en la Virgen María de la *Adoración de los Magos* de la Catedral, la del Palacio Arzobispal, la de la *Huida a Egipto* del retablo de Marchena o la más bella de todas, la de los Mareantes del Alcázar sevillano, que comparte postura con la que estudiamos.

Este canon de belleza se observa también en la Capilla de las Doncellas de la Catedral de 1534, en concreto en la escena de la *Entrega de las dotes a las doncellas* atribuida a Cristóbal de Morales (Post 1950: 176-179; Serrera 1984: 380-384; Valdivieso 1986: 66). Los rostros de las doncellas se nos muestran muy cercanos a los de las mártires que tratamos [Figura 14], algo que puede ser inspiración del trabajo del

taller o que se traten de obras realizadas por Alejo Fernández tal y como plantea Gómez Sánchez (2015: 339).

Santa Catalina y *Santa Bárbara* [Figura 15] han recuperado los lujosos brocados de minucioso dibujo de sus ropajes. Los repintes desvirtuaron la riqueza cromática dificultando la atribución hasta ahora. La inclusión de *Santa Catalina de Alejandría* [Figura 4] debió responder al deseo de la esposa del promotor, Catalina Rodríguez. Aparece coronada y nimbada como mártir, pisoteando a un personaje con turbante que vendría a representar la victoria de la fe cristiana. Este personaje pagano, dentro del contexto hispano, suele ser representado con rasgos musulmanes, de ahí que sea el único elemento añadido a la disposición de la estampa de Israhel van Meckenem que se debió emplear. El mismo modelo invertido pero con mayor ornato lo tenemos en el guardapolvo derecho del retablo de San Juan de Marchena.

Santa Bárbara porta su corona de princesa y la palma de mártir. En segundo plano se representa la torre donde fue encerrada por su padre Dióscoro, torre que evoca modelos flamencos de ciudades como Brujas o Gante. La disposición del diseño sigue los modelos del Maestro alemán ES. Alejo Fernández incluye también a esta santa en los conjuntos de Marchena y Santiago, portando la torre en lugar del libro.

En los laterales del altar se hallan cuatro tablas que representan en la parte superior a *San Andrés* [Figura 3] y a *Santiago Apóstol* [Figura 2] y, en la parte baja, a *San Pedro* y *San Pablo* [Figura 16]. Estas pinturas resultan conflictivas al ser de factura más genérica. No se trata de obras de mala calidad, pero no poseen la brillantez del conjunto. La dureza



Figura 16.- A y C Apóstoles del Retablo de Sta. María Magdalena: B) San Pedro, Martin Schongauer, 1480-1485, Petit Palais, París, nº GDUT8639; C) San Pablo, Maestro FVB, 1490-1500, National Gallery, Washington, nº 1944.2.43.

de los rasgos y la monumentalidad de sus semblantes nos alejan de la dulcificación de los personajes ya tratados. Son correctos, pero claramente de taller, basados en estampas de Hans Baldung Grien para Santiago Apostol, de Schongauer en los casos de San Pedro y San Andrés o del Maestro FVB en San Pablo. Son testimonio del funcionamiento del taller y de la riqueza de fuentes manejadas, flamencas y alemanas.

Atendiendo a la cronología del retablo, 1537-1543, planteamos dos hipótesis de autoría. Por un lado, podría ser obra del propio hijo de Alejo, Sebastián de Alexos, lo que limitaría su realización a los primeros años, ya que este fallece en enero de 1539 (Gestoso 1899-1900: T.III 268). La otra posibilidad es que se tratase de Juan de Mayorga, quien trabajó con Alejo durante los últimos años de su vida, llegando a tener un importante vínculo, tal y como puede leerse en su testamento: "Mando a Juan de mayorga pintor vna losa de pulfido colorada de dos hages por servicios e buenas obras que del he recibido e buena voluntad que le tengo" (Gestoso 1899-1900: T.III 322-323). A Mayorga sería a quien cediese los trabajos pendientes cuando la enfermedad no le permitió continuar, como es el caso de Santiago de Jerez de la Frontera. Esta relación es la que hace decantarnos por Juan de Mayorga, aunque quedaría por demostrarse documentalmente.

Conclusiones

Los trabajos de restauración han permitido acercarnos al aspecto que el retablo debió tener originalmente, presentando una calidad artística bastante superior a como

lucía antes de la intervención. La comparativa de los datos técnicos con los del retablo mayor de San Juan de Marchena, muestra una misma técnica de ejecución y de empleo de materiales, si bien estas características son compartidas por abundantes obras de la época.

Gracias al trabajo de archivo se ha podido fechar el retablo entre 1537 y 1543. Sin embargo, no hemos podido localizar el contrato de ejecución del retablo, debido al mal estado, deterioro y pérdida de documentación en el archivo de protocolos notariales en las fechas dadas por el escribano que se encargaría del mismo. A pesar de ello y, tras haber efectuado un profundo estudio formal, técnico y estilístico, planteamos la atribución del conjunto a Alejo Fernández junto a alguna figura de su taller o entorno, decantándonos por Juan de Mayorga por cronología y cercanía al maestro.

Por calidad, factura y rasgos estéticos, nuestra hipótesis es que la ejecución de las figuras de las tablas principales, es decir, las seis frontales, corresponden a Alejo Fernández. En el caso de la que da nombre al retablo, el *Noli me tangere*, las figuras del Cristo resucitado y de María Magdalena, están completamente repintadas en el siglo XIX por Juan de Escacena.

También vemos destellos del talento del maestro en los paisajes de los fondos, especialmente en arboledas y arquitecturas, que nos evocan directamente otras obras suyas, tales como la Anunciación del Museo de Bellas Artes de Sevilla. Sin embargo, hay aspectos irregulares que sugieren la participación de un ayudante, como se percibe

en la estancia de la *Anunciación*, que no está a la altura de las figuras protagonistas.

En ambos laterales se ubican las tablas relativas a los apóstoles, sin lugar a duda propias de una mano distinta a la del maestro, menos capacitada, pero que cumple el trabajo con solvencia. De ahí que pensemos que sean obras de algún miembro del taller de Alejo Fernández. Son buenos ejemplos del funcionamiento del taller y de la riqueza de fuentes iconográficas empleadas. El conjunto se remata en su parte superior con una pintura de *Dios Padre*, del siglo XIX, y desconocemos si en origen existió otra en ese mismo espacio.

Podemos concluir remarcando la importancia de este conjunto de la Catedral de Sevilla, uno de los primeros retablos pictóricos del renacimiento sevillano y testimonio del método de trabajo del taller de la *Magna Hispalensis* de principios del siglo XVI. Si atendemos a la cronología que planteamos, esta obra estaría enmarcada dentro de la producción final de Alejo Fernández, siendo el mejor testimonio del último estilo del maestro. En este, presta menos atención a las arquitecturas para dejar todo el protagonismo a unos personajes que lucen unos rostros mucho más dulces, alejándose de la dureza y el estatismo de sus primeras obras.

Es por todo esto que estamos ante una obra excepcional, que se ha podido recuperar gracias a la restauración del conjunto y que, por fechas, se trataría de la última obra conservada en la que podemos apreciar el pincel de Alejo Fernández.

Agradecimientos

Agradecemos al Cabildo de la Catedral de Sevilla las facilidades dadas así como al personal del Archivo del Arzobispado y de Protocolos Notariales de Sevilla por las indicaciones facilitadas.

Notas

[1] Sevilla, Archivo General del Arzobispado de Sevilla [AGAS], Archivo de la Catedral de Sevilla [ACAS], s.I, autos capitulares de 1498, 1499..., sign. 07053, f.59.

[2] Sevilla, AGAS, ACS, s.IX, leg.10957, exp.28, s.f.

[3] Sevilla, AGAS, ACS, s.IX, leg.10957, exp.28, s.f.

[4] Sevilla, AGAS, ACS, s.IX, leg.10957, exp.28, 16-III-1601.

[5] Sevilla, AGAS, ACS, s.IX, leg.10957, exp.28, 16-III-1601.

[6] Sevilla, AGAS, ACS, s.IX, leg.10957, exp.28, 19-VI-1601.

[7] Sevilla, AGAS, ACS, f.capitular, s.IV, Autos y comisiones de mayordomía de fábrica. Relaciones de fábrica. Desde el año de 1758 hasta el fin de año de 1803. Sign.04497, 18-VI-1760, f.18.

[8] Sevilla, AGAS, ACS, f.capitular, s.IV, Autos y comisiones de mayordomía de fábrica. Relaciones de fábrica. Desde el año de 1758 hasta el fin de año de 1803. Sign.04497, 12-I-1803, fol.67.

[9] Sevilla, AGAS, ACS, f.capitular, s.IV, Autos y comisiones de mayordomía de fábrica. Relaciones de fábrica. Desde el año de 1758 hasta el fin de año de 1803. Sign.04497, 12-VIII-1803, fol.71.

[10] Sevilla, AGAS, ACS, f.capitular, s.IV, Autos y comisiones de mayordomía de fábrica. Relaciones de fábrica. Desde el año de 1758 hasta el fin de año de 1803. Sign.04497, 12-VIII-1803, fol.72vta.

[11] Sevilla, AGAS, ACS, f.capitular, s.IV, Autos y comisiones de mayordomía de fábrica. Relaciones de fábrica. Desde el año de 1758 hasta el fin de año de 1803. Sign.04497, 12-VIII-1803, fol.73.

[12] Sevilla, AGAS, ACS, f.capitular, s.IV, Autos y comisiones de mayordomía de fábrica. Relaciones de fábrica. Desde el año de 1758 hasta el fin de año de 1803. Sign.04497, 12-VIII-1803, fol.78.

[13] Sevilla, AGAS, ACS, s.VI, Contaduría, Libramientos ordinarios 1803-1804, Libro de Caja, sign.6358.

[14] Sevilla, Archivo de la Real Academia de Bellas Artes de Santa Isabel de Hungría [ARABASIH], Libro d Matricula qe. principia el año de 1775, f.73.

[15] Sevilla, AGAS, ACS, f.capitular, s.I, Libranzas, 1801-1835, sign.04496, 11-VII-1804, f.42.

[16] Sevilla, ARABASIH, Libro d Matricula qe. principia el año de 1775, f.20.

[17] Sevilla, AGAS, ACS, f.capitular, s.I, Libranzas, 1801-1835, sign.04496, 10-VII-1804, f.42.

[18] Sevilla, AGAS, ACS, f.capitular, s.I, Libranzas, 1801-1835, sign.04496, 28-VI-1804, f.41.

[19] <https://bdh.bne.es/bnearch/Search.do?field=autor&text=%22Escacena%2C%20M.>

[20] Sevilla, ARABASIH, Libro de Actas desde el año 1775, 30-XI-1810, f.º29.

Referencias

AGUILAR, J. (1999). *Memoria de los trabajos de restauración del retablo mayor de la iglesia de San Juan Bautista de Marchena, Sevilla*. Sevilla: Dirección General de Bienes Culturales de la Junta de Andalucía.

ANGULO ÍÑIGUEZ, D. (1946). Alejo Fernández. Sevilla: Laboratorio de Arte de la Universidad de Sevilla.

ARANDA BERNAL, A. (1991). "Aproximación a la figura de Gonzalo Díaz", *Atrio*, 3: 201-202.

ÁVILA, A. (1993). *Imágenes y símbolos en la arquitectura pintada española (1470-1560)*. Barcelona: Anthropos.

- CEÁN BERMÚDEZ, J. A. (1804). *Descripción artística de la Catedral de Sevilla*. Sevilla: Casa de la Viuda de Hidalgo y Sobrino. <https://bdh.bne.es/bnearch/detalle/bdh0000095066>. [consulta: 3/3/2025].
- COLÓN Y COLÓN, J. (1841). *Sevilla artística*. Sevilla: Imprenta de Álvarez y Compañía. <https://idus.us.es/items/c96b6f87-ddad-466d-916a-ed356b550bd6>. [consulta: 3/3/2025].
- DURO GARRIDO, R. (2018). "El clero catedralicio sevillano a través de la fundación de capellanías (1500-1550)". En *Monarquías en conflicto, linajes y noblezas en la articulación de la monarquía hispánica*, Fortea Pérez, J.I., Gelabert J. E., López Vela, R. et. al. Madrid: Fundación Española de Historia Moderna, Universidad de Cantabria, 1157-1167.
- FALCÓN MÁRQUEZ, T. (1980). *La Catedral de Sevilla (estudio arquitectónico)*. Sevilla: Ayuntamiento de Sevilla.
- FALCÓN MÁRQUEZ, T. (1992). "Documentación de las pinturas de Juan de Espinal en la escalera del Palacio Arzobispal de Sevilla", *Cuadernos de Arte de la Universidad de Granada*, XXII: 385-391.
- GESTOSO Y PÉREZ, J. (1889-1892). *Sevilla monumental y artística. Historia y descripción de todos los edificios notables*. Sevilla: Oficina Tipográfica de El Conservador. <https://bdh.bne.es/bnearch/detalle/bdh0000008646>. [consulta: 3/3/2025].
- GÓMEZ SÁNCHEZ, J.A. (2015). *Alejo Fernández y la pintura sevillana del primer tercio del siglo XVI*. Tesis doctoral inédita. Sevilla: Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/items/163435b8-3769-46a2-8b85-85c70bbc2d58>. [consulta: 7/5/2025].
- GONZÁLEZ DE LEÓN, F. (1844). *Noticia artística, histórica y curiosa de todos los edificios públicos, sagrados y profanos de esta Muy Noble, Muy Leal, Muy Heroica e Invicta Ciudad de Sevilla, y de muchas casas particulares*. Sevilla: Imprenta de José Hidalgo. <https://idus.us.es/items/90975295-b0f7-4354-8e53-5709a3331f0a>. [consulta: 3/3/2025].
- JIMÉNEZ MARTÍN, A. (2006). "Las fechas de las formas. Selección crítica de fuentes documentales para la cronología del edicio medieval". En *La catedral gótica de Sevilla*. Fundación y fábrica de la obra nueva, Jiménez Martín, A. Sevilla: Universidad de Sevilla, 17-113.
- JIMÉNEZ MARTÍN, A. (2013). *Anatomía de la catedral de Sevilla*. Sevilla: Diputación de Sevilla.
- JUAN LOVERA, C. (1978). "La Pintura del Siglo XVI en Alcalá", *Boletín de Estudios Giennenses*, 97: 43-78.
- LAGUNA PAÚL, T. (2019). "Necesidades litúrgicas, construcción y deconstrucción de la Capilla Mayor de la catedral de Sevilla en la Baja Edad Media. I: memoria topográfica y documental desde 1248 hasta mediados del siglo XV", *Anuario de Historia de la Iglesia andaluza*, 12: 203-230.
- LOAYSA, J. (1706). *Memorias sepulcrales de esta Santa Iglesia Patriarcal de Sevilla y toda la noticia de este género de antigüedades en dicha Santa Iglesia*. Sevilla. Consultado en Antequera Luengo, J.J. (2008). *Memorias sepulcrales de la catedral de Sevilla. Los manuscritos de Loaysa y González de León*. Sevilla: Facediciones.
- MARCHENA HIDALGO, R. (1998). *Las miniaturas de los Libros de Coro de la Catedral de Sevilla: el siglo XVI*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- MARCHENA HIDALGO, R. (2012). "Una nueva obra de Alejo Fernández", *Laboratorio de Arte*, 24: 97-111.
- OLLERO LOBATO, F. (2002). "La ocupación francesa en Sevilla y la difusión del neoclasicismo: la decoración de la casa de los Cavalieri", *Laboratorio de Arte*, 15: 189-199.
- OLLERO PINA, J.A. (2016). "Micer García de Gibrleón († 1534), un bróker eclesiástico en la Roma del Renacimiento", *Hispania*, 76 (253): 355-384.
- ORTIZ DE ZÚÑIGA, D. (1677). *Anales eclesiásticos y seculares de la muy noble y muy leal ciudad de Sevilla, metrópoli de la Andalucía*. Madrid: Imprenta Real. <https://bdh.bne.es/bnearch/detalle/bdh0000134564>. [consulta: 3/3/2025].
- OSSORIO Y BERNARD, M. (1883-1884). *Galería biográfica de artistas españoles del siglo XIX*, Madrid: Moreno y Rojas. <https://bibliotecavirtual.malaga.es/es/consulta/registro.cmd?id=16232>. [consulta: 7/5/2025].
- PLAZA ORELLANA, R. (2010). "La pintura de escena sevillana (1795-1815). Escenógrafos del Teatro Cómico", *Laboratorio de Arte*, 22: 553-564.
- POST, C.R. (1950). *The Early Renaissance in Andalusia, A History of Spanish Painting*, vol. X. Cambridge: Harvard University Press.
- RAVÉ PRIETO, J.L. (2006). *La parroquia de San Juan Bautista de Marchena*. Sevilla: Maratania.
- RECIO MIR, Á. (1998). "El retablo de San José y la implantación neoclásica en la Catedral de Sevilla", *Laboratorio de Arte*, 11: 253-273.
- RECIO MIR, Á. (2009). "La versatilidad del Renacimiento: Variedad material, icónica, tipológica y funcional". En *El retablo sevillano desde sus orígenes hasta la actualidad*, Halcón, F.; Herrera, F. y Recio, Á. Sevilla: Diputación Provincial de Sevilla, 72-126.
- RODRÍGUEZ ESTÉVEZ, J.C. (1996). Los canteros de la catedral de la obra gótica de la Catedral Sevilla, *Laboratorio de Arte*, 9: 49-71.
- RODRÍGUEZ ESTÉVEZ, J.C. (1998). *Los canteros de la catedral de Sevilla del gótico al renacimiento*. Sevilla: Diputación Provincial de Sevilla.
- ROS GONZÁLEZ, F.S. (2012). "El Bautismo de Cristo de José María Escacena y Daza, una copia de Murillo", *Laboratorio de Arte*, 24: 537-547.
- SAGREDO, D. (1526). *Medidas del Romano: necesarias a los oficiales que quieren seguir las formaciones de las basas, columnas, capiteles y otras piezas de los edificios antiguos*. Toledo: en casa d[e] Remo de petras. <https://bdh.bne.es/bnearch/detalle/bdh0000256897>. [consulta: 3/3/2025].
- SENTENACH Y CABAÑAS, N. (1885). *La pintura en Sevilla. Estudio sobre la escuela pictórica sevillana: desde sus orígenes hasta nuestros días*. Sevilla: Gironés y Orduña. <https://www.rae.es/archivo-digital/la-pintura-en-sevilla>. [consulta: 3/3/2025].

SERRERA CONTRERAS, J. M. (1984). "La catedral de Sevilla: Pinturas y pintores del siglo XVI". En AAVV, *La Catedral de Sevilla*. Sevilla: Guadalquivir, 353-404.

VALDIVIESO, E. (1978). *Catálogo de las pinturas de la Catedral de Sevilla*. Sevilla: Editorial Server-Cuesta.

VALDIVIESO, E. (1986). *Historia de la pintura sevillana. Siglos XIII al XX*. Sevilla: Guadalquivir.

Autor/es



Rafael de Besa Gutiérrez

rdebesa@us.es

Universidad de Sevilla

<https://orcid.org/0000-0002-0066-5622>

Doctor en Historia del Arte por la Universidad de Sevilla, acreditado a Profesor Contratado Doctor. Académico correspondiente de la Real Academia de Bellas Artes de Santa Isabel de Hungría de Sevilla. Su línea de investigación se centra en las instituciones académicas para la formación artística y su relación con gremios y museos. Es autor del libro "El Museo de Bellas Artes de Sevilla en el siglo XIX", obra que fue galardonada con el primer premio Archivo Hispalense de la Diputación de Sevilla. Ha publicado artículos en los que ha tratado temas de relevancia para la historiografía artística andaluza tales como son la Academia del Arte de la Pintura fundada por Murillo, la Escuela de Nobles Artes, la Hermandad de San Lucas de Sevilla y el gremio de pintores, la Real Academia de Santa Isabel de Hungría o el Museo de Bellas Artes de Sevilla. En la actualidad es profesor del departamento de Historia del Arte de la Universidad de Sevilla, habiendo impartido asignaturas en los grados de Historia del Arte, Turismo, Filosofía o Arqueología. Como investigador es miembro del grupo de Investigación HUM-171: Centro de Investigación de la Historia de la Arquitectura y del Patrimonio Artístico Andaluz (CIHAPA). Coordina anualmente las Jornadas de Arte Contemporáneo de la Universidad de Sevilla y la Real Maestría de Caballería de Sevilla.



Paloma Maza Lara

pmazalara@gmail.com

Autónoma

Licenciada en Bellas Artes por la Universidad de Granada (promoción 86-91) con la especialidad en Conservación/ Restauración. Ha desarrollado su profesión de restauradora trabajando en obras de relevancia a nivel nacional, formando parte de equipos de trabajo o dirigiendo proyectos como profesional autónoma. En su larga carrera ha intervenido en numerosas obras: retablos, pintura mural, escultura, pintura de caballete, piedra, etc., pertenecientes tanto a organismos públicos como privados (Museo de Bellas Artes de Granada, Junta de Andalucía, Ministerio de Cultura, Universidad de Granada, Catedral

de Sevilla, Reales Alcázares de Sevilla, Arzobispado de Granada, Arzobispado de Sevilla, etc.). También ha colaborado en diferentes equipos multidisciplinares, como restauradora, elaborando fichas de diagnóstico en distintos inventarios (Convenio Universidad de Granada y Arzobispado 2009, bajo la dirección de Ignacio Henares Cuéllar) y en la redacción de proyectos de Intervención como el del Convento de Santa Clara de Sevilla.



Marta Pertejo Rozas

mpertejo@yahoo.es

Autónoma

Licenciada en Conservación y Restauración, especialidad en restauración de pintura, Universidad Complutense de Madrid, promoción 1986-1991. Desde el año 1992 ha trabajado ininterrumpidamente en diferentes disciplinas de restauración-conservación de Bienes Muebles, abordando trabajos en pintura mural, retablos, pintura de caballete, pintura de gran formato y escultura policromada. Ha participado en diferentes ciclos de formación y jornadas en el Museo Nacional del Prado. En el año 2004 funda la empresa de restauración CÓDICE RESTAURACIÓN SL. Participa en la creación del estudio privado de restauración SERRANO 221, en el año 2006 en Madrid, hasta su traslado a Sevilla en el año 2012. Ha trabajado para diferentes organismos públicos y privados, destacando entre otros: Patrimonio Nacional (Palacio Real de Madrid, Monasterio de el Escorial, Palacio de Aranjuez, Palacio de la Granja de San Ildefonso, Monasterio de las Descalzas Reales), Ministerio de Cultura, Ministerio de Defensa, Ministerio de Exteriores, Museo de Escultura de Valladolid, Junta de Castilla La Mancha, Museo de Bellas Artes de Córdoba, Junta de Andalucía, Banco de España, Museo Nacional del Prado, Cabildo Catedral de Sevilla, Arzobispado de Sevilla (Iglesia Colegial del Divino Salvador), Reales Alcázares de Sevilla, Universidad de Sevilla.



Ana Isabel Gamero González

conservacionbbmm@catedraldesevilla.es

Conservadora de Patrimonio Histórico Artístico de la Catedral de Sevilla

<https://orcid.org/0009-0007-3458-6416>

Licenciada en Bellas Artes por la Universidad de Sevilla con la especialidad de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, cuenta con una amplia experiencia profesional en proyectos de recuperación de obras en las diócesis de Córdoba y Sevilla, y con un profundo conocimiento del patrimonio en las diócesis del Sur de España. Miembro de la Real Academia de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes de Córdoba, correspondiente en Sevilla. Profesorado externo en el Máster en Estudios Avanzados en Patrimonio Cultural: Historia, Arte y Territorio. Universidad de Jaén. Numerosas actuaciones en obras de temática religiosa, comunidades de vida consagrada, parroquias y colecciones particulares. Desde el año 2016 es la responsable de la Conservación del Patrimonio Histórico –

Artístico de la Catedral de Sevilla. Gestión en la conservación de las colecciones de pintura, escultura, textiles, orfebrería, vidrieras, mobiliario, etc. (supervisión de las restauraciones y ocasionalmente, participando en dichas tareas). Gestión de exposiciones, elaboración de artículos, conferencias, colaboración con museos y otras instituciones dedicadas a la conservación del patrimonio. Acompañamiento de bienes en su traslado a nivel nacional e internacional, y autora de proyectos de Peritación y Clasificación de Obras de Arte. Participe en el Proyecto del CNA (Centro Nacional de Aceleradores) "Protocolo de caracterización in situ de obras pictóricas mediante técnicas nucleares no destructivas y otras técnicas no invasivas: aplicación a las colecciones de la Catedral de Sevilla, así como otras obras de alto valor artístico patrimonial". Representante de la Catedral de Sevilla en el plan de conservación y difusión del patrimonio en exposiciones propias y externas.

Artículo enviado 19/01/2025
Artículo aceptado el 10/08/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1366>



Quitosán y fluoruro de sodio para la conservación sostenible de restos óseos

Luisa Straulino Mainou, Luisa Mainou Cervantes

Resumen: Este artículo presenta dos sustancias para la conservación de hueso que pueden utilizarse juntas o separadas, dependiendo de su composición química: fluoruro de sodio y quitosán. A diferencia de las técnicas tradicionales con polímeros sintéticos, este enfoque trata tanto la parte inorgánica (mineral) como la orgánica (colágeno). El fluoruro de sodio promueve la remineralización formando fluorapatita, lo que mejora la estabilidad; mientras que el quitosán, un biopolímero con propiedades antibacterianas, puede compensar la pérdida de colágeno, aumentando su resistencia mecánica. Su aplicación desde 1995 en la CNCPC, México, ha resultado exitosa para tratar elementos óseos históricos, arqueológicos y fósiles. Además, previene el crecimiento microbiano y es menos invasivo que otras técnicas de consolidación porque no hace capas en superficie ni rellena espacios, permitiendo la conservación sin alteración estructural. Las características de ambas sustancias las posicionan como una opción más sostenible que las opciones tradicionales de tratamiento de hueso. El estudio detalla los procedimientos de preparación, métodos de aplicación y casos de estudio que demuestran su efectividad.

Palabras clave: remineralización, bioconsolidación, consolidación, fluoruro de sodio, quitosán, hueso, sostenibilidad, restauración

Chitosan and sodium fluoride for the sustainable preservation of skeletal remains

Abstract: This paper presents two substances that can be used together or apart (depending on the chemistry of the bones to be treated) for the conservation of bone: sodium fluoride and chitosan. Unlike traditional consolidation techniques with synthetic polymers, this approach addresses both the inorganic (mineral) and organic (collagen) components of bone. Sodium fluoride promotes remineralization by forming fluorapatite, which enhances stability, while chitosan, a biopolymer with antibacterial properties, can compensate for lost collagen, improving mechanical resistance. Their application since 1995 at the CNCPC in Mexico, has been successful in treating historical and fossilized remains. It prevents microbial growth and is less invasive than other conservation techniques because it does not create superficial layers or mineral fillings, making it suitable for conservation while maintaining structural integrity. The characteristics of both substances make them a more sustainable option for treating bones than the traditional ones. The study includes detailed preparation procedures, application methods, and case studies demonstrating the technique's effectiveness.

Keywords: remineralization, bioconsolidation, consolidation, sodium fluoride, chitosan, bone, sustainability, restoration

Quitosana e fluoreto de sódio para a preservação sustentável de restos ósseos

Resumo: Este artigo apresenta duas substâncias para a conservação de ossos que podem ser utilizadas em conjunto ou separadamente, dependendo da sua composição química: fluoreto de sódio e quitosana. Ao contrário das técnicas tradicionais com polímeros sintéticos, este método trata tanto a parte inorgânica (mineral) como a orgânica (colágeno). O fluoreto de sódio promove a remineralização formando fluorapatite, o que melhora a estabilidade; enquanto a quitosana, um biopolímero com propriedades antibacterianas, pode compensar a perda de colágeno, aumentando a sua resistência mecânica. A sua aplicação desde 1995 no CNCPC, México, tem sido bem-sucedida no tratamento de elementos ósseos históricos, arqueológicos e fósseis. Além disso, previne o crescimento microbiano e é menos invasiva do que outras técnicas de consolidação, pois não forma camadas superficiais nem preenche espaços, permitindo a conservação sem alteração estrutural. As características de ambas as substâncias posicionam-nas como uma opção mais sustentável em comparação com os tratamentos ósseos tradicionais. O estudo detalha os procedimentos de preparação, métodos de aplicação e casos de estudo que comprovam a sua eficácia.

Palavras-chave: remineralização, bioconsolidação, consolidação, fluoreto de sódio, quitosana, osso, sustentabilidade, restauro

Introducción

El hueso es un biomineral compuesto por bioapatita (69%), colágeno tipo I (22%), y agua (9%); la primera está formada por cristales de fosfato de calcio carbonatado de tamaño nanométrico y de forma elongada, alineados en el eje longitudinal de la matriz orgánica y otras biomacromoléculas. La dureza y la resistencia del hueso están proporcionadas por la parte mineral y la función del colágeno es proporcionar soporte y resistencia a la tracción. Los dientes están formados también por bioapatita, colágeno y otras proteínas; no obstante, las concentraciones de material orgánico son menores que en el hueso y en el esmalte llega a ser de solo 10% (Von Euw *et al.* 2019; Berkovitz y Shellis 2018; Georgiadis, Müller y Schneider 2016).

Los restos de un vertebrado, al incorporarse a la litósfera, inician una serie de procesos tafonómicos que pueden favorecer la conservación o la degradación de su esqueleto. Una de las formas de conservación del tejido óseo es cuando además de la recristalización de la apatita, se incorpora flúor a su estructura formando fluorapatita, más estable químicamente que la bioapatita; por ello muchos fósiles óseos se han transformado parcial o totalmente en fluorapatita (Kendall *et al.* 2018; Keenan 2016; Merino y Morales 2008; Wopenka y Pasteris 2005; Person *et al.* 1995).

Para el tratamiento convencional de elementos óseos degradados suelen aplicarse polímeros sintéticos como consolidantes. Los más utilizados son el Paraloid® (B72 o B44) (polimetilmetacrilato), el Butvar®B-98 o Mowital® B60H (polivinilbutirales). En algunas partes del mundo, como en México, también se utiliza Resistol® 850 (acetato de polivinilo en emulsión) en acciones de conservación aplicadas por paleontólogos, antropólogos físicos y arqueólogos (Howie 1984; Koob 1984; Cimino *et al.* 2014; Abdel-Maksoud, Kira y Mohamed 2022). Además, existen otras alternativas (menos extendidas o en fase experimental) basadas en la formación de minerales específicos como el uso de hidroxiapatita, fosfato diamónico, silicatos o nanopartículas de calcio que forman minerales cristalinos o amorfos que se depositan en la superficie y/o en cavidades óseas, cementando las partículas disgregadas (Marín-Ortega, Iglesias-Campos y Calvo i Torras 2024; Porpora *et al.* 2022; Díaz-Cortés *et al.* 2022; Liu *et al.* 2021; North, Balonis y Kakoulli 2016).

No obstante, las sustancias aquí propuestas son dos: el fluoruro de sodio que se usa para intervenir la parte inorgánica tomando como referencia a los campos médico y odontológico, y el quitosán, que puede reemplazar algunas de las propiedades del hueso que se pierden cuando el colágeno se degrada. Estos procedimientos fueron desarrollados desde 1995 en la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC, México) por la primera autora, quien contó con el asesoramiento del químico Manuel Salmónt, que le recomendó explorar el quitosán.

Justificación

Aunque los polímeros sintéticos presentan ventajas (rapidez de actuación, útil en intervenciones de campo y su “reversibilidad^[1]”), no hay que olvidar que son materiales filmógenos que forman capas superficiales en el hueso cortical y que recubren las paredes de la trabécula y las paredes de las grietas. Entonces, el “endurecimiento” del hueso corresponde al del polímero y no a una restitución intrínseca de las propiedades del material óseo, ocasionando resultados insatisfactorios ya que la desmineralización y la pérdida de colágeno no se resuelven. Además, estas películas tienden a sellar los poros óseos, representando un riesgo en presencia de sales solubles y suelen tener problemas en cuanto a su eliminación efectiva interfiriendo en análisis de superficie e isotópicos (Moreiras *et al.* 2023; Brock *et al.* 2018; López-Polín 2012).

La consolidación con minerales modifica la microestructura del hueso rellenando sus cavidades de forma similar a un proceso artificial de permineralización^[2], elevando el peso del hueso tratado; además, suelen tornarse duros, frágiles y sin su flexibilidad característica.

Las sustancias aquí presentadas son una alternativa ya que resuelven algunos de los problemas mencionados. Su mecanismo de acción difiere sustancialmente ya que reestablecen algunas propiedades del hueso como dureza y flexibilidad, sin cambiar su microestructura, sin generar películas superficiales y sin aumentar significativamente el peso de los huesos tratados. Los residuos, al ser sustancias naturales, no son tóxicos para los usuarios y se incorporan al ambiente sin contaminarlo.

La parte inorgánica del hueso

—El apatito (apatita)

El término apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{OH},\text{Cl})$) alude a un grupo de minerales fosfatados de los cuales la fluorapatita, hidroxiapatita y clorapatita son los únicos aceptados por la Asociación Mineralógica Internacional. Su estructura cristalina es proclive a sustituciones químicas pudiendo acomodar aproximadamente a la mitad de los elementos de la tabla periódica. Estas sustituciones modifican ligeramente la estructura del mineral repercutiendo en su solubilidad, dureza, fragilidad y estabilidad térmica. Dentro de la estructura cristalina de la apatita pueden darse intercambios atómicos: los grupos hidroxilo (OH^-), el flúor (F^-) y el cloro (Cl^-), pueden intercambiarse entre ellos; los fosfatos (PO_4^{3-}) pueden sustituirse por carbonatos (CO_3^{2-}), sulfatos (SO_4^{2-}), arsenatos (AsO_4^{3-}) o silicatos (SiO_4^{4-}), y al ion calcio (Ca^{2+}) lo pueden remplazar múltiples iones metálicos (Hughes and Rakovan, 2002; Wopenka and Pasteris 2005). El F- debido a su pequeño radio iónico es el que mejor se adapta a la estructura cristalina de la apatita. Por ello, la fluorapatita es el mineral del grupo con mayor

simetría y estabilidad en comparación con los OH⁻ de la hidroxiapatita que no son esféricos lo que le confiere una simetría y estabilidad menores (Wopenka y Pasteris 2005; Kohn, Rakovan y Hughes 2002).

Tradicionalmente, se describe al mineral del hueso como hidroxiapatita, Ca₁₀(PO₄)₆(OH), pero su estructura coincide mejor con la de una apatita carbonatada (CO₃AP) de tamaño nanométrico y en forma de placa (aproximadamente 3 x 25 x 50 nm) dotando al hueso de una gran superficie de reacción (100 m²/g). La bioapatita es estructuralmente desordenada y de composición no estequiométrica resultado de la presencia de múltiples especies catiónicas (como Na⁺, Mg²⁺) y aniónicas (como HPO₄²⁻, CO₃²⁻, Cl⁻), así como vacantes en la red cristalina. Todo ello ocasiona que el mineral tenga alta reactividad y un grado de solubilidad elevado en comparación a la hidroxiapatita inorgánica (Von Euw *et al.*, 2019; Wopenka y Pasteris 2005; Elliot 2002).

El flúor y el fluoruro de sodio

El flúor (F) es el elemento más electronegativo, es univalente y en muchos compuestos la estequiometría del F⁻ se parece a la del OH⁻ porque su radio iónico es similar. Para la remineralización dental y ósea *in vivo* se emplea en forma de fluoruro de sodio (NaF) que se disuelve a temperatura ambiente en agua (4 g en 100 ml). Las soluciones al 0,5-1 % presentan un pH aproximado de 6,7 aunque éste puede variar ligeramente según el tipo y cantidad de impurezas presentes. La reacción del flúor (F⁻)

con el calcio (Ca²⁺) y el magnesio (Mg²⁺) tiene relevancia biológica ya que forman complejos con el flúor en el organismo volviéndose altamente insolubles (Johnston y Strobel 2020; Jha *et al.* 2011; Thomas y Reeves 1997).

— Remineralización^[3] y la formación de fluorapatita

La remineralización es un proceso de conservación distinto al de la consolidación, ya que actúa directamente a nivel iónico, sustituyendo OH⁻ por F⁻, formando fluorapatita que contrarresta la desmineralización diagenética y recuperando la dureza. Esta reacción sucede rápidamente en la superficie del esmalte en aplicaciones odontológicas; sin embargo, también puede tener lugar en los huesos y dientes fósiles durante el enterramiento, cuando el F⁻ que se localiza en las soluciones del entorno se incorpora a su estructura (Sivapriya *et al.* 2017; Keenan 2016; Hedges 2002; Newsley 1989).

El flúor también se usa para la prevención y tratamiento de caries incipientes, por inhibición de las enzimas celulares de las bacterias o permitiendo la permeabilidad de sus membranas celulares, favoreciendo así la desinfección y conservación de los elementos tratados (Rošin-Grget *et al.* 2013; Sanshu y Breaker 2012). Este efecto es relevante para la conservación puesto que permite que las soluciones de flúor sean utilizadas como sustancias bactericidas y bacteriostáticas.

La desmineralización ocurre cuando el pH del entorno desciende a niveles críticos de 5,5 para el esmalte y 6,2

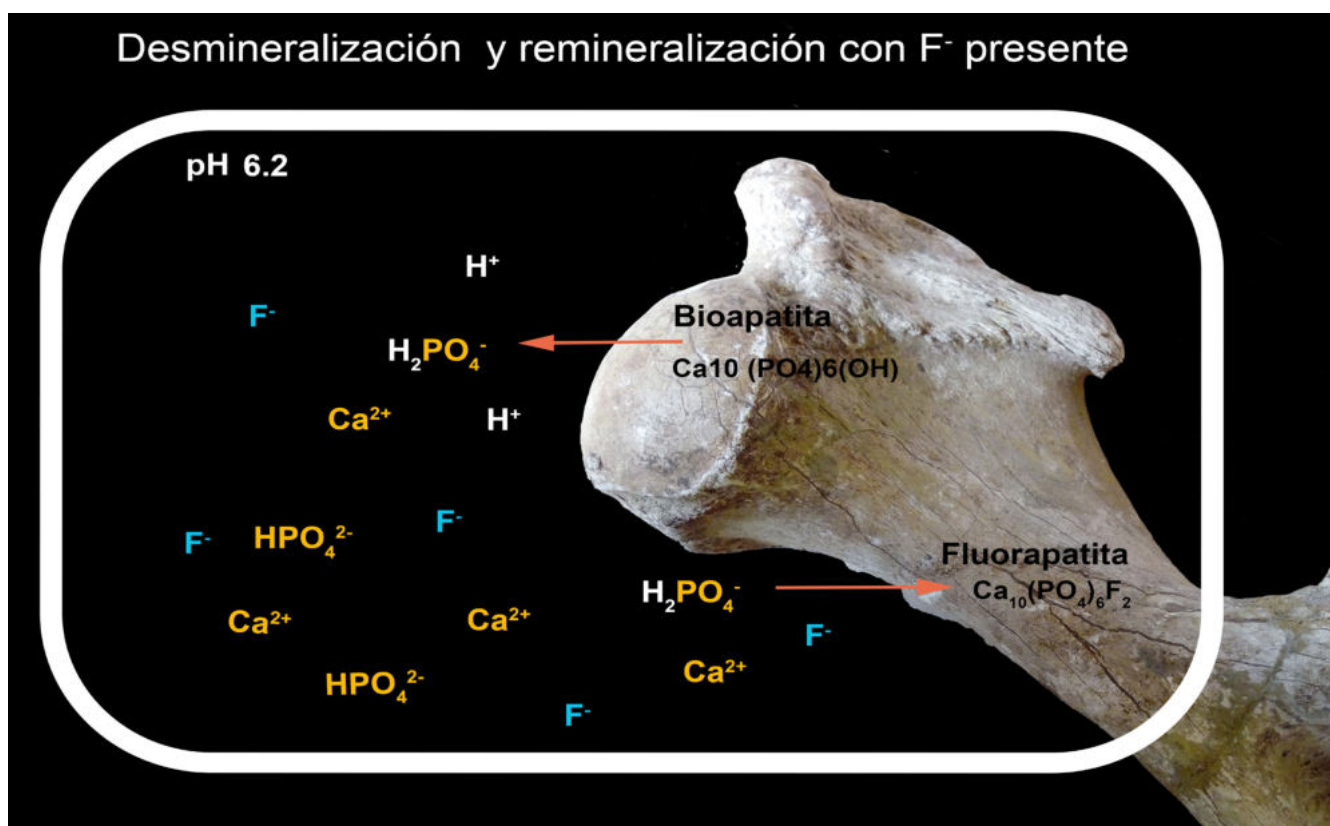


Figura 1.- Proceso de desmineralización y remineralización en presencia del ion flúor. Se observan todas las especies iónicas en la solución cuando hay un pH crítico de 6,2 para hueso o dentina (para el esmalte es de 4,5 y 5,5).

para la dentina y el hueso, favoreciendo la disolución de la bioapatita. Cuando el F^- está presente en soluciones acuosas y entra en contacto con el tejido óseo y dental reemplaza a los OH^- en la red cristalina. Este proceso ocurre espontánea y rápidamente a temperatura ambiente debido a la alta electronegatividad del flúor (F^-) que lo hace reaccionar fácilmente. A mayor concentración de flúor que se incorpora en el hueso, mayor será el tamaño del cristal de apatita lo que genera un mineral más estable y con menor solubilidad en medios ácidos [Figura 1] (López-González *et al.* 2018).

La parte orgánica del hueso

— Colágeno

El colágeno está compuesto por tres cadenas polipeptídicas formadas por repeticiones del tripéptido de glicina-prolina-hidroxiprolina, organizadas en hélices alfa levógiras^[4]. Estas tres cadenas se ensamblan juntas para formar la característica estructura del colágeno en una triple hélice dextrógira (Sionkowska 2006; Collins *et al.* 1995).

Cada osteona en el hueso está formada por capas coaxiales de colágeno que se disponen helicoidalmente alrededor de un canal de Havers formando láminas. Las fibrillas de cada lámina son paralelas y cambian de orientación abruptamente formando planos ortogonales o arcos (Giraud-Guille, Belamie y Mosser 2004; Giraud-Guille 1988).

El colágeno del hueso presenta una temperatura de gelatinización inusualmente alta y una mayor estabilidad que el colágeno no mineralizado que se atribuye a que la presencia del mineral retarda la desnaturalización y la pérdida de péptidos. En general la pérdida de colágeno provoca una reorganización de la microestructura del tejido óseo (Kendall *et al.* 2018; Nielsen-Marsh y Hedges 2000; Collins *et al.* 1995).

— Quitosán

La quitina ($C_8H_{13}O_5N$)_n es un polisacárido insoluble en agua, y en la mayoría de los solventes orgánicos, que compone a los exoesqueletos de artrópodos, así como las paredes celulares de los hongos. Es el segundo polímero más abundante en la naturaleza, después de la celulosa y es similar a ésta. Contiene grupos acetamida ($-NHCOCH_3$) que favorecen la formación de enlaces de hidrógeno entre cadenas, lo que le confiere al material una elevada resistencia mecánica. De la quitina se obtiene el quitosán (un grupo de quitinas parcial o totalmente desacetiladas) que es semicristalino, filmógeno y soluble en soluciones acuosas ligeramente ácidas. Su estructura molecular contiene grupos amino que hacen del quitosán el único polication en la naturaleza. Mientras que la mayoría de los polisacáridos naturales como la celulosa son ácidos,

el quitosán tiene un comportamiento básico debido a su protonación derivada de los grupos amina. El quitosán es biorenovable, ya que se obtiene de desechos de exoesqueletos de crustáceos y de paredes celulares de algunos hongos (Aranaz *et al.* 2021; Rinaudo 2006; Dutta, Dutta y Tripathi 2004).

El quitosán tiene propiedades regenerativas en diversos tejidos, como el hueso y la piel, por lo que es biocompatible; no es tóxico, no es irritante y no es propenso a generar alergias, y además es biodegradable (Matica, Menghiu y Ostafe 2017; Giraldo 2015; Venkatesan *et al.* 2014). Presenta propiedades antibacterianas y antifúngicas ya que provoca lisis en sus células, desnaturaliza sus enzimas e inhibe el ADN y la síntesis de ARN suprimiendo la esporulación (Kong *et al.* 2010; Martínez-Camacho *et al.* 2010). También tiene propiedades coagulantes y floculantes, siendo capaz de coagular hidrocarburos y polímeros derivados del petróleo. Se utiliza para hacer cementos endodónticos, formular nanomateriales de uso dental, realizar implantes orales, y en biomedicina se emplea en ingeniería de tejidos para huesos y piel, así como para su regeneración (Aranas *et al.* 2021; Croisier y Jérôme 2013; Venkatesan y Kim 2010; Dutta, Dutta y Tripathi 2004). Como se fabrica con diversos pesos moleculares, condiciona algunas de sus propiedades y la eficacia de sus aplicaciones en conservación. Por ejemplo, el de bajo peso molecular se adecua mejor para consolidar, mientras que el de alto peso molecular se emplea para procesos superficiales como la eliminación de películas poliméricas.

— Bioconsolidación^[6] de hueso con quitosán

El quitosán interactúa con el hueso por medio de puentes de hidrógeno^[7] y de Van der Waals^[8], y cuando se prepara en bajas concentraciones, se observa un aumento en la dureza del complejo hueso/quitosán [Figura 2]. Asimismo, el incremento de la acidez en la solución de quitosán también aumenta la dureza del sistema hueso/quitosán. Se han realizado análisis mediante espectroscopía FTIR donde se observan variaciones en los espectros debido a la interacción de ambos compuestos. Además, mediante difracción de rayos X, se demostró que la cristalinidad aumenta en los compuestos de hueso/quitosán, tanto en hueso compacto como en hueso trabecular. Esto es importante debido a que una mayor cristalinidad se asocia con mayor estabilidad (Paz, Vasquez-García y Flores-Ramírez 2016; Paz 2013).

El quitosán se ha aprovechado como andamiaje para hueso sintético en medicina desde hace más de dos décadas y se ha documentado su eficacia en la mejora de la dureza del hueso (natural o artificial), así como la biocompatibilidad de implantes óseos. La aplicación de recubrimientos de quitosán sobre hidroxiapatita sintética ha logrado mejorar su resistencia a la compresión (Rashed, Misnan y Nawi 2023; Escobar y Mesa 2019; Venkatesan *et al.* 2014; Ezoddini-Ardakani *et al.* 2012; Venkatesan y Kim 2010).

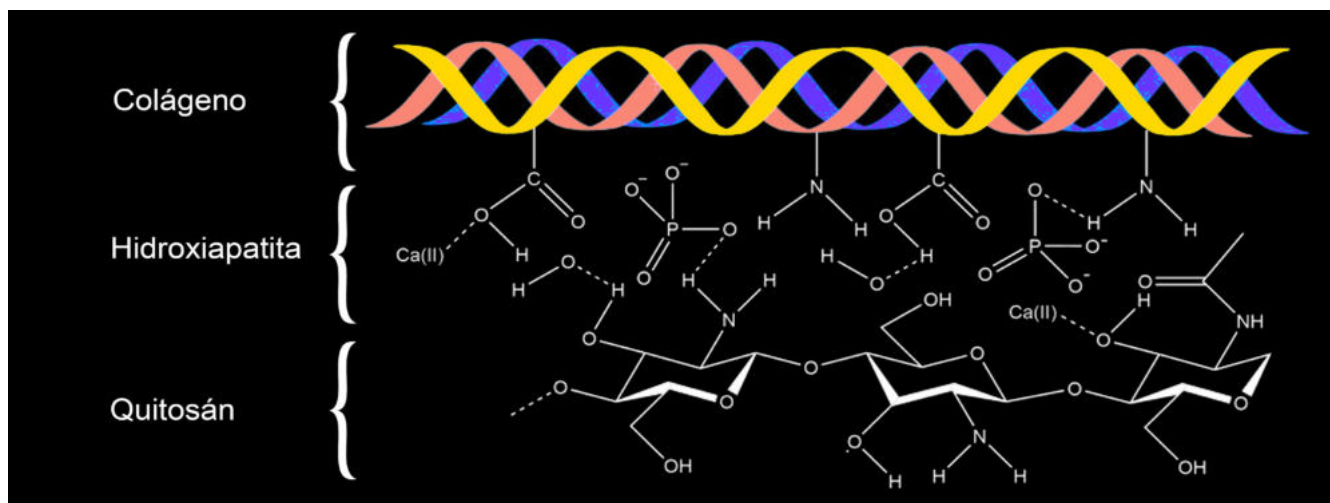


Figura 2.- Enlaces formados entre la molécula del quitosán y los componentes del hueso: hidroxiapatita y colágeno. Tomado y modificado de: (Becerra *et al.* 2022)

¿Cómo y cuándo utilizar estos productos?

En adelante se presentarán casos donde se utilizaron quitosán y fluoruro de sodio de diversas maneras; estos corresponden a casos de estudio seleccionados de los múltiples que se han trabajado con estos productos en la CNCPC-INAH y que demuestran su utilidad para resolver algunos problemas. Las restauraciones realizadas en cada caso consistieron en procesos de intervención diferentes; sin embargo, sólo detallaremos lo correspondiente a los productos en cuestión detallando la finalidad de su uso y su justificación, las concentraciones, las técnicas y los resultados obtenidos.

— Para huesos reblandecidos

Esqueleto de Aquiles Serdán (héroe de la Revolución Mexicana de 1910).

Este esqueleto se conservó durante décadas en una urna dentro de un monumento. Las autoridades gubernamentales y culturales decidieron en 2017 trasladarlos al Museo de la Revolución, ubicado en la que fue su casa, y hacer un homenaje de cuerpo presente ante sus descendientes. Durante su enterramiento en el monumento hubo filtraciones de agua, por lo que el contacto directo y persistente con ella generó una disminución de las propiedades físico-mecánicas del material óseo que tenía la apariencia y sensación táctil de una tiza mojada. Los huesos presentaban un mal estado de conservación: disgregación, pulverulencia, alta porosidad, pérdida de tejido cortical y cristales en la cortical o en el hueso trabecular. No podían ser manipulados sin que se fragmentaran o pulverizaran de manera irremediable [Figura 3A].

Al no poderse manipular por su fragilidad, los huesos se remineralizaron dentro de la urna. Esto se realizó con una solución de fluoruro de sodio en agua destilada al 1% por aspersión con un pulverizador de mano [Figura 4A]. Se aplicó cada 24 horas durante 60 días. Posteriormente, se aplicó el bioconsolidante por aspersión con pulverizador. Una vez

que adquirieron dureza y resistencia se colocó el producto 5 veces más, con pincel plano de cerdas suaves de pelo sintético, dejando secar entre cada aplicación [Figura 4B].

La remineralización y la consolidación dieron un excelente resultado: el esqueleto pudo ser retirado de la urna sin más fracturación de la ya existente [Figura 3B], los huesos se pudieron manipular para un análisis de antropología física [Figura 3C], y el cráneo se pudo montar en un soporte hecho exprofeso para dignificarlo para el homenaje [Figura 3D]. Además, el tratamiento conjunto sirvió como medida profiláctica ya que el esqueleto aún contaba con material orgánico en pudrición.

— Huesos expuestos a la intemperie o que permanecieron en ambientes con ciclos de humedad y secado y/o con crecimiento fúngico.

Esqueletos atribuidos a Miguel Hidalgo y Costilla, Ignacio Allende, Ignacio Aldama y Mariano Jiménez (héroes de la Independencia de México de 1810).

Durante la Guerra de Independencia Mexicana (1810-1821), se fusilaron y decapitaron a estos 4 próceres en Chihuahua. El cuerpo de Hidalgo fue enterrado en el convento de San Francisco y los otros tres en el cementerio de la ciudad. Sus cabezas fueron enviadas a Guanajuato y colgadas en la Alhóndiga de Granaditas durante diez años, y fueron sepultadas en 1821. Sus cuerpos y las cabezas fueron exhumados en 1823 para ser trasladados a la catedral metropolitana de la Ciudad de México, después de un suntuoso funeral público. En 1910 fueron lavados con sosa caustica, detergente y secados al sol como parte de los festejos del centenario de la independencia de México. En 1925, fueron nuevamente trasladados de la catedral al mausoleo del Monumento a la Independencia, y en 2010 en el marco del bicentenario, los héroes de la independencia fueron llevados al Museo Nacional de Historia donde se conservaron por profesionales, y fueron estudiados por antropólogos físicos e historiadores. Tras su análisis, se

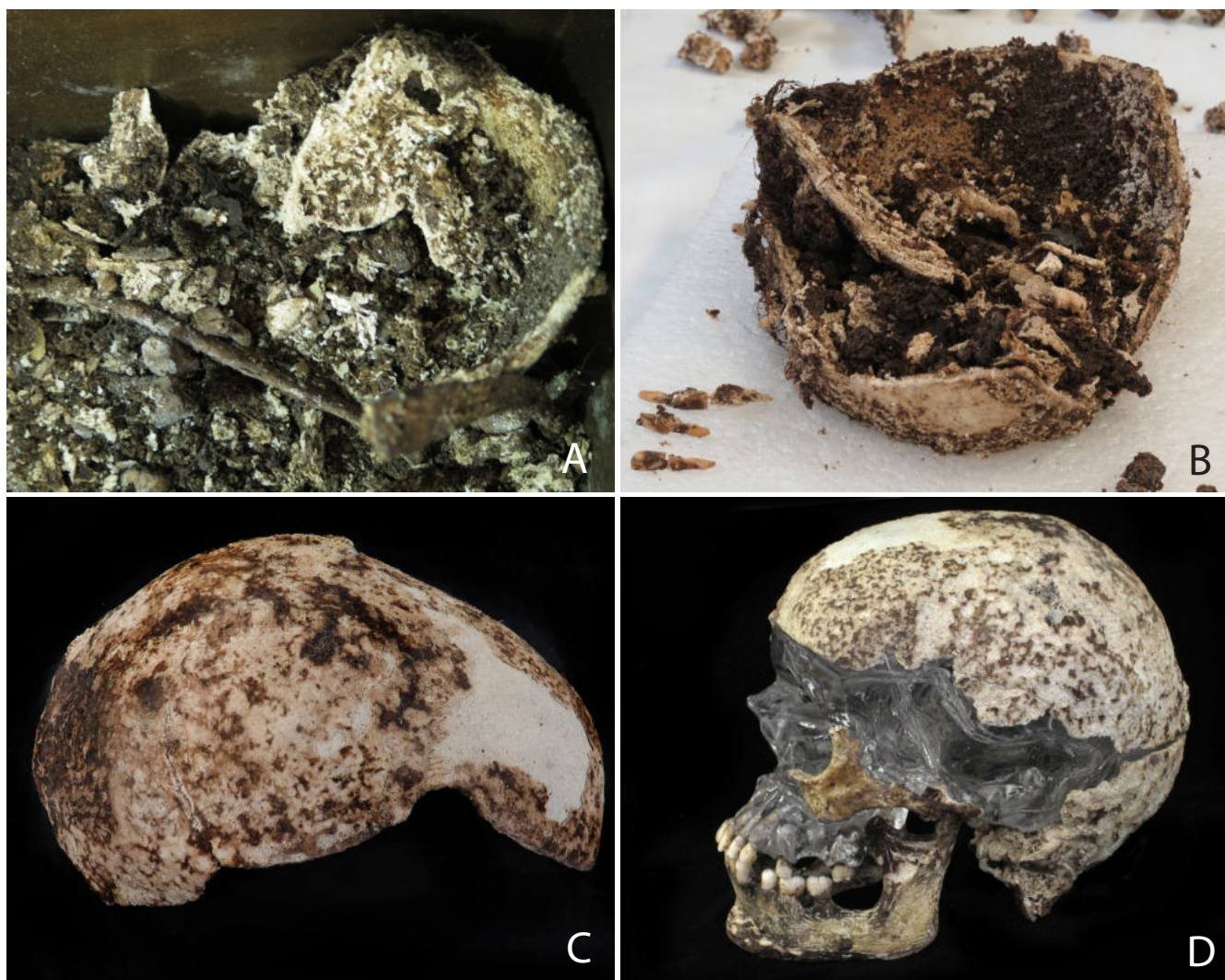


Figura 3.- Ejemplo del estado de conservación del esqueleto. Sólo se muestra el cráneo. A) Estado de conservación antes de su intervención dentro de la urna funeraria. B) Extracción del cráneo después de la remineralización. C) Calota del cráneo restaurada. D) Aspecto final del cráneo y mandíbula después de su montaje.



Figura 4.- A) Proceso de remineralización por aspersión con pulverizador. El frágil estado de conservación de este cráneo no permitía que se extrajera de la urna funeraria por lo que el proceso se realizó dentro de la urna. B) Bioconsolidación. Después de aplicar el fluoruro de sodio como remineralizador se continuó la intervención mediante la aplicación de quitosán con pincel plano de cerdas sintéticas.



Figura 5.- A) Estado de conservación de los esqueletos de Hidalgo, Jiménez, Aldama y Allende antes de ser intervenidos en 2010. Estos huesos largos presentaban deshidratación, microfracturas, descamación, disgregación y pulverulencia debido al proceso realizado en 1910. B) Esqueleto de Hidalgo al finalizar el tratamiento. C) Esqueleto de Allende al finalizar el tratamiento.

exhibieron con dignidad en una muestra conmemorativa en el Palacio Nacional para ser finalmente devueltos al mausoleo del Monumento a la Independencia.

Dada la historia de estos esqueletos, los huesos están deshidratados, agrietados, con fisuras y fracturas. La cortical presentaba craqueladuras y escamas. Además, se observó crecimiento fúngico en la superficie [Figura 5 A].

Se decidió utilizar únicamente quitosán^[10], ya que no presentaban problemas de desmineralización ni pérdida de dureza. Se utilizó por aspersión con un pulverizador para inhibir y erradicar hongos [Figura 6A]. La solución se aplicó hasta saturar los huesos. Después de 24 horas se llevó a cabo

la limpieza utilizando quitosán al 0,48 % ^[11]. Se colocaron los huesos en una bandeja de plástico sin cubrirlos por completo; la superficie se limpió con un cepillo de cerdas suaves sintéticas montado en un micromotor rotatorio utilizando dicha solución a manera de “detergente” [Figura 6B], y se realizó la bioconsolidación por absorción sumergiendo los huesos en la solución de quitosán hasta alcanzar la saturación [Figura 6C].

El tratamiento con quitosán eliminó la presencia de hongos haciendo segura su manipulación para el equipo de conservadores y otros profesionales que los estudiaron. Además, los huesos se rehidrataron y la apariencia escamosa disminuyó notablemente [Figura 5 B y C].



Figura 6.- A) En la imagen se muestra el proceso realizado para inhibir el crecimiento fúngico con quitosán aplicado por aspersión. B) Proceso de limpieza de la superficie de los huesos. C) Después de la limpieza se realizó la consolidación de los huesos por absorción

— *Huesos con desmineralización y disgregación*

-Defensa de mamut del Museo Regional de Nayarit, México.

Esta defensa de mamut es una de los dos restos paleontológicos del Museo Regional de Nayarit, México, que cuenta con contexto de excavación. Fue encontrada en 1995 cerca del aeropuerto de Nayarit en terrenos con el manto freático muy alto. Para su extracción se adhirió a su superficie papel periódico con Resistol® 850 diluido en agua, se hizo una carcasa de yeso, y se extrajo. La pieza estuvo en el museo sin tratamiento hasta 1997, cuando se quitó parte de la cobertura de yeso y se realizó una limpieza con alcohol de 96° diluido al 30 %^[12] en agua con hisopos de algodón y cepillo de cerda fina. Además, se aplicó alcohol isopropílico en dos ocasiones y se consolidó con Mowilith® 50 diluido en *thinner* (disolvente orgánico) al 30 % . Tras esta intervención, la defensa sufrió un deterioro considerable debido a que el tratamiento con el Mowilith® no fue el adecuado al quedarse en superficie [Figura 7A]. En 2019 se hicieron estudios histotafonómicos y geoquímicos, y se intervino para evitar su pérdida, ya que estaba completamente fragmentada y colapsada en algunas secciones y la dentina presentaba sequedad y extrema fragilidad al tacto debido a su desmineralización y pérdida de colágeno: cuando se ejercía una ligera presión sobre cada fragmento, se rompía o se pulverizaba.

Para solucionar la extrema fragilidad de la defensa y desecamiento, se intervino con fluoruro de sodio al 1 %



Figura 7.- A) Estado de conservación de la defensa antes del tratamiento de 2019. Se nota la capa de consolidante sintético envejecido en la superficie. B) Estado de la defensa al terminar su intervención.

aplicado con un matraz de lavado hasta saturar el hueso [Figura 8A y B]; una vez evaporada el agua de la solución de fluoruro de sodio, se aplicó quitosán con pincel plano de cerda dura, y quitosán de alto peso molecular^[13] [Figura 8C y D].

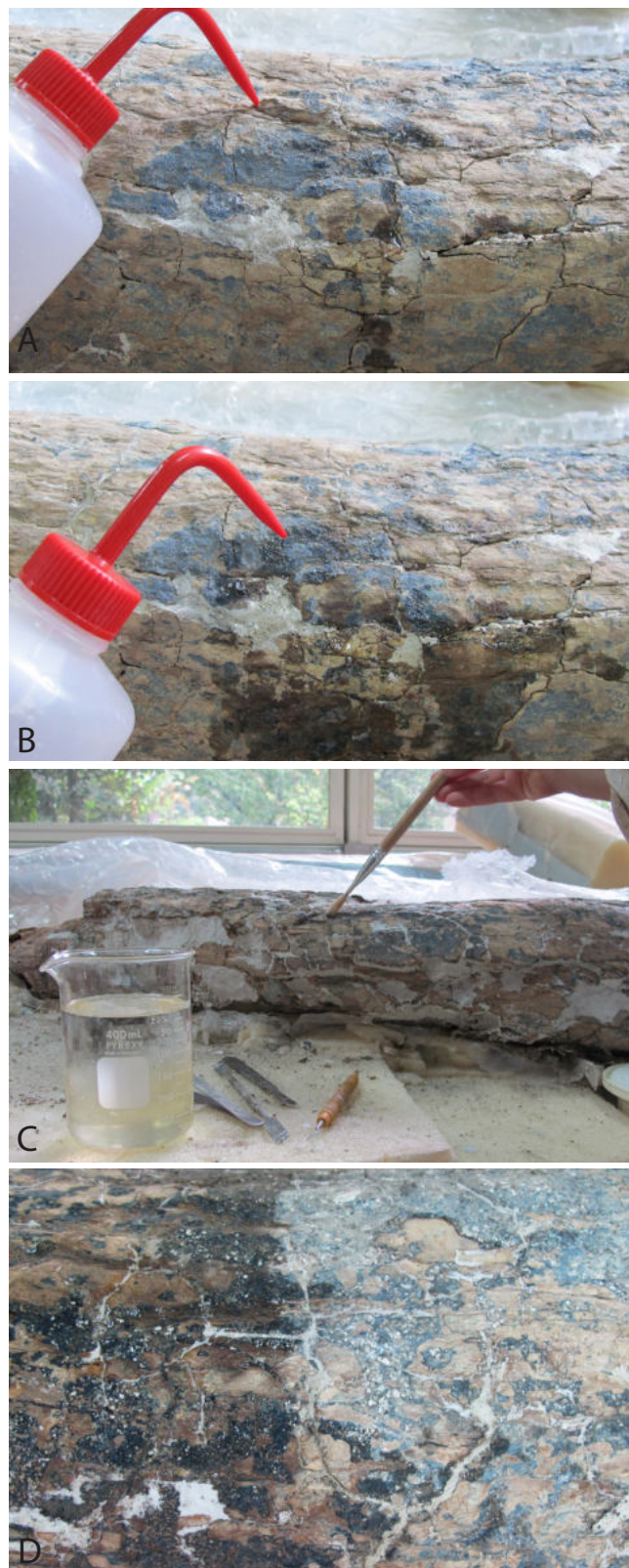


Figura 8.- A y B) Fluoruro de sodio que se colocó con un matraz de lavado hasta saturar el hueso. C y D) Bioconsolidación con solución de quitosán aplicado con pincel de cerdas suaves hasta saturar la estructura de la dentina.

El tratamiento, permitió que cada fragmento de dentina recuperara su dureza y parte de su hidratación evitando su rotura en fragmentos más pequeños o su franca disgregación en polvo, facilitando la manipulación general del ejemplar y otros tratamientos de adhesión de fragmentos, relleno de grietas y montaje en un soporte traslúcido.

— Huesos tratados previamente con polímeros sintéticos

-Fósiles de mamut de Tocuila, Estado de México.

Estos restos fósiles fueron excavados y tratados en los 90 del siglo pasado. Durante el análisis de los más de 1000 huesos recuperados se observó que varios tenían marcas tafonómicas importantes como huellas de corte que identificaron a este sitio como un lugar donde los pobladores tempranos del centro de México obtenían material óseo para hacer herramientas. Estas piezas fueron consolidadas con Resistol® 850 diluido en agua. A partir de 2021, se realizaron estudios histotafonómicos y geoquímicos en algunas piezas relevantes del conjunto. Además, se iniciaron procesos de restauración debido a que el consolidante usado en la intervención previa generó capas superficiales de grosor considerable que junto a su envejecimiento, alteró las características organolépticas de la superficie ósea original [Figura 9A].

La capa de Resistol® 850 de la superficie del hueso compacto se eliminó con quitosán de alto peso molecular ^[14], aplicado varias veces con pincel plano dejando secar entre ellas, hasta formar una capa gruesa; el quitosán se coloca en la superficie con el pincel pero no se arrastra el material sobre ella; esto ayuda a formar capas densas de producto. Después, esta capa se rehidrató con agua aplicada con pincel y se levantó con ayuda de un palillo de bambú con la punta modificada a modo de espátula [Figura 10 A].

El quitosán eliminó de manera eficiente la capa del polímero sintético antiguo sin tener que hacer fricción sobre la superficie. Esto resultó sumamente importante ya que bajo la vieja capa se encontraron marcas de corte [Figura 10B], y marcas de dientes de carnívoro que no se habían logrado distinguir en el análisis de los fósiles. Además, con la remoción

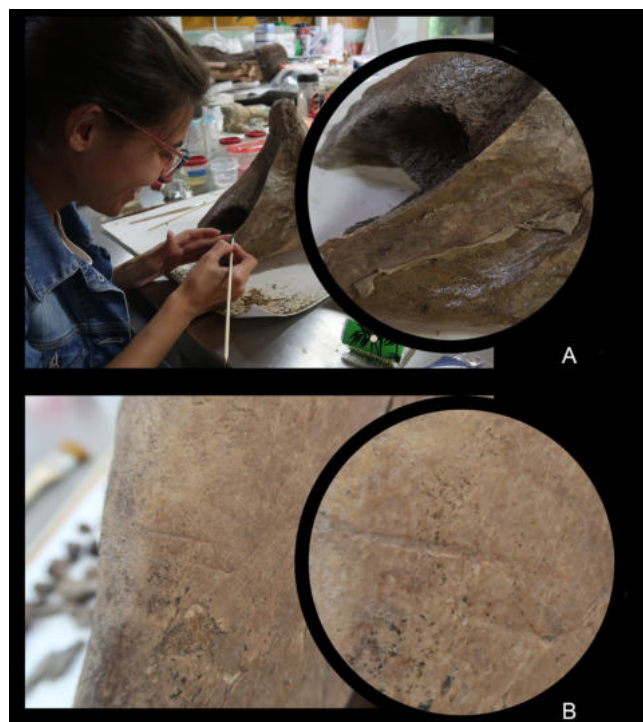


Figura 10.- A) Eliminación de la capa de quitosán con un palillo de bambú. En el detalle se observa la sección intervenida y cómo se retira la película. B) Marcas de corte que se hicieron patentes tras la limpieza. Se puede observar también que la textura, el brillo y el color del hueso se han recuperado. María Pérez Barea ©.

del polímero ahora se puede observar adecuadamente la textura, el color y el brillo del hueso fósil.

Conclusiones

El uso del quitosán y del fluoruro de sodio es versátil. Pueden aplicarse juntos o por separado, lo que deberá ser evaluado a partir del diagnóstico del estado de conservación del elemento óseo que deba ser intervenido. Las concentraciones de los productos también pueden variar, pero sugerimos que el flúor nunca se utilice en valores más altos del 1 %, puesto que el hueso puede volverse demasiado duro y, por ende, quebradizo.



Figura 9.- Epífisis de ulna de mamut de Tocuila A) Estado de conservación de la pieza antes de ser intervenida en 2021. Se observa una capa grisácea en la superficie del hueso formada por acetato de polivinilo envejecido. B) Proceso de limpieza. La mitad inferior ya ha sido tratada con quitosán para remover la capa de polímero sintético. C) Estado de conservación del hueso una vez eliminada toda la capa de polímero.

Además, estos productos presentan una serie de ventajas sobre los consolidantes tradicionales: a) Tratan directamente los problemas de desmineralización y pérdida de colágeno; b) Mantienen intacta la estructura del hueso sin formar capas superficiales ni rellenando espacios; c) No cambian las cualidades de textura, color y brillo del tejido óseo tratado; d) Funcionan como tratamientos profilácticos y de desinfección; d) Son productos no tóxicos y amigables con el medio ambiente; incluso son biocompatibles. La toxicidad del fluoruro de sodio se da con la ingesta excesiva del mismo, pero cuando es deficiente en el organismo, causa patologías. Por otro lado, es necesario entender que el proceso de remineralización es irreversible, ya que actúa directamente sobre la composición de los cristales de apatita, pero sin alterar la microestructura del hueso. Por ello, es necesario que su uso quede registrado y que se tomen muestras antes de iniciar el procedimiento, puesto que hay estudios tafonómicos en los que la cantidad de fluorapatita formada naturalmente es importante (Del Valle *et al.* 2025). A su vez, el quitosán es reversible, ya que se disuelve en agua; sin embargo, el proceso de consolidación en sí mismo no lo es, como sucede con los productos tradicionales ya mencionados en este estudio.

En el contexto actual de la crisis climática que vivimos, las acciones individuales son trascendentes. Por ello, es necesario recalcar la importancia de buscar y escoger soluciones amigables con el medio ambiente que reduzcan nuestra huella de carbono, que sean biodegradables, y que se pondere la pertinencia de usar productos más nocivos. El uso del quitosán y fluoruro de sodio es una alternativa sostenible y responsable con la salud individual, comunitaria y del planeta. Por último, cabe mencionar que nuestra experiencia muestra que, bien utilizados, estos productos son eficaces para la conservación del hueso; sin embargo, aún hacen falta más valoraciones empíricas que arrojen datos cuantitativos y cualitativos^[15] de los efectos de las intervenciones con estos materiales.

Agradecimientos

Las autoras desean expresar su sincero agradecimiento a los revisores y al equipo editorial por sus valiosos comentarios y sugerencias. Sus observaciones contribuyeron significativamente a mejorar la claridad, el rigor y la calidad general del manuscrito.

Notas

[1] Entrecomillado porque aunque la sustancia puede ser reversible el método no lo es. Además, los polímeros sintéticos suelen tener reacciones de entrecruzamiento debido a factores como la temperatura de transición vítrea, la oxidación o la exposición a la radiación UV, que generan que el polímero sea cada vez más insoluble.

[2] La permineralización es un proceso en el que se depositan minerales ajenos al hueso naturalmente en los espacios óseos y que

es común, aunque no esencial, en la fosilización del hueso.

[3] Procedimiento para hacer el remineralizador (NaF) al 1%: Colocar en un vaso de precipitado 1 litro de agua destilada sobre la balanza. Agregar 10 g de fluoruro de sodio. Agitar para favorecer su disolución. Dejar reposar hasta que todo esté completamente disuelto. Verter la solución en un contenedor previamente etiquetado (fecha, sustancia, concentración). Esta disolución puede durar más de un año si se almacena tapado, en un lugar fresco y sin luz directa, y sin meter ninguna herramienta al contenedor para no contaminar. Se puede desechar por el desagüe después de usarse. Cabe recordar que para la preparación y uso del fluoruro de sodio no pueden usarse herramientas de metal o vidrio, ya que el flúor reacciona con los iones metálicos de ambos materiales consumiéndose y la solución dejaría de ser efectiva.

[4] Que giran a la izquierda

[5] Que giran a la derecha

[6] Procedimiento para preparar bioconsolidante (quitosán) (al 1,94 %): Verter 800 ml de agua destilada en la licuadora. Agregar el quitosán y bajar las revoluciones durante 2 minutos. Pesar 6 g de ácido acético y agregarlos a los 200 ml de agua en un vaso de precipitado. Verter la solución en la licuadora, rápida pero cuidadosamente, y aumentar la velocidad. Al notar un cambio de sonido, apagar. Verter la mezcla en un frasco de vidrio ámbar con tapa y etiquetar (fecha, sustancia, concentración). Dejar reposar 24 horas antes de usar. Si se usa por inmersión, la solución restante no se puede reusar.

[7] Los puentes de hidrógeno son un tipo especial de enlace dipolo-dipolo que se forman entre un átomo de hidrógeno con carga parcial positiva y un átomo electronegativo (como oxígeno, nitrógeno o flúor) con carga parcial negativa en otra molécula o dentro de la misma.

[8] Son las fuerzas atractivas o repulsivas entre las moléculas. Son más débiles que los enlaces iónicos y los covalentes, pero responsables de fenómenos físicos y químicos como la adhesión, rozamiento, difusión, tensión superficial y la viscosidad. Se conocen como fuerzas dipolo-dipolo, dipolo-dipolo inducido y fuerzas de London.

[9] El quitosán que se obtiene tras el procedimiento en la nota al pie 7, se diluyó 1:1 en agua destilada.

[10] El quitosán que se obtiene tras realizar el procedimiento en la nota al pie 7, se diluyó 1:1 en agua destilada.

[11] La solución que se obtiene tras realizar el procedimiento en la nota al pie 7, se diluyó 2:1 (agua destilada:quitosán).

[12] Esta es la única información que se conserva en el informe.

[13] El quitosán que se obtiene tras el procedimiento en la nota al pie 7, se diluyó 1:1 en agua destilada.

[14] Se utilizó la concentración del procedimiento de la nota al pie 7.

[15] La segunda autora ha comenzado a realizar estas pruebas como parte de una tesis de doctorado en la Universitat Rovira i Virgili y el Institut Català de Paleoecologia Humana y Evolució Social.

Referencias

- ABDEL-MAKSOUND, G., KIRA, H.E.S. AND MOHAMED, W.S. (2022). "Consolidation of Fragile Archaeological Bone Artifacts: A review", *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(13): 1065–1080. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2022.158706.6860>.
- ARANAZ, I., ALCÁNTARA, A.R., CIVERA, M. C., ARIAS, C., ELORZA, B., CABALLERO, A.H., ACOSTA, N. (2021). "Chitosan: An overview of its properties and applications", *Polymers*, 13. <https://doi.org/10.3390/polym13193256>.
- BECERRA, J., RODRIGUEZ, M., LEAL, D., NORIS-SUAREZ, K., GONZALEZ, G. (2022) "Chitosan-collagen-hydroxyapatite membranes for tissue engineering", *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 33(2). <https://doi.org/10.1007/s10856-022-06643-w>.
- BERKOVITZ, B. AND SHELLIS, P. (2018). *The teeth of mammalian vertebrates*. Amsterdam, New York: Academic Press.
- BROCK, F. DEE, M., HUGHES, A., SNOECK, C., STAFF, R., BRONK RAMSEY, C. (2018). "Testing the effectiveness of protocols for removal of common conservation treatments for radiocarbon dating", *Radiocarbon*, 60(1): 35–50. <https://doi.org/10.1017/RDC.2017.68>.
- CIMINO, D.; CHIANTORE, O., POLI, T., ORMEZZANO, D., GALLO, L. M. (2014). "Historical conservation treatments in palaeontology: the geo-palaeontological collection of the Geology and Palaeontology Museum of the University of Turin managed by the Piedmont Council Museum of Natural Science of Turin", *Museologia Scientifica*, 8:71–76.
- COLLINS, M.J.; RILEY, M., CHILD, A. M., TURNER-WALKER, G. (1995). "A Basic Mathematical Simulation of the Chemical Degradation of Ancient Collagen", *Journal of Archaeological Science*, 22: 175–183. <https://doi.org/10.1006/jasc.1995.0019>.
- CROISIER, F. AND JÉRÔME, C. (2013). "Chitosan-based biomaterials for tissue engineering", *European Polymer Journal*, 49(4): 780–792. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2012.12.009>.
- DEL VALLE, H., RODRÍGUEZ-NAVARRO, A., MOCLÁN, A., GARCÍA-MEDRANO, P., CÁCERES, I. (2025) "Bone diagenesis and stratigraphic implications from Pleistocene karst systems", *Scientific Reports*, 15(1), pp. 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88968-4>.
- DÍAZ-CORTÉS, A., GRAZIANI, G., BOI, M., LÓPEZ-POLÍN, L., SASSONI, E. (2022). "Conservation of Archaeological Bones: Assessment of Innovative Phosphate Consolidants in Comparison with Paraloid B72", *Nanomaterials*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/nano12183163>.
- DUTTA, P.K., DUTA, J. AND TRIPATHI, V.S. (2004). "Chitin and Chitosan: Chemistry, properties and applications", *Journal of Scientific and Industrial Research*, 63(1): 20–31. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.06.001>.
- ELLIOTT, J.C. (2002). "Calcium Phosphate Biominerals". En: *Phosphates: Geochemical, Geobiological and materials importance*. Kohn, M., Rakovan, J., Hughes, J.M. (eds). Washington, D.C: The Mineralogical Society of America., 427–448.
- ESCOBAR SIERRA, D.M., MESA OSPINA, D.N. (2019). "Evaluación de recubrimientos de quitosano sobre cuerpos porosos de hidroxiapatita", *Scientia et Technica*, 24(1): 161–172. <https://doi.org/10.22517/23447214.20051>.
- VON EUW, S. WANG, Y., LAURENT, G., DROUET, C., BABONNEAU, F., NASSIF, N., AZAÏS, T. (2019). "Bone mineral: new insights into its chemical composition", *Scientific Reports*, 9(1): 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44620-6>.
- EZODDINI-ARDAKANI, F. NAVABAZAM, A., FATEHI, F., DANESH-ARDEKANI, M., KHADEM, S., ROUHI, G. (2012). "Histologic evaluation of chitosan as an accelerator of bone regeneration in microdrilled rat tibias", *Dental research journal*, 9(6): 694–9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23559943/>.
- Ficha técnica del NAF utilizado: https://www.sigmaaldrich.com/specification-sheets/137/240/201154-BULK____SIGALD____.pdf
- (Ficha técnica de las marcas de quitosán utilizados: https://www.sigmaaldrich.com/specification-sheets/392/945/419419-BULK____ALDRICH____.pdf; <https://www.scbt.com/es/p/chitosan-9012-76-4?srltid=AfmBOoxrr1YBiZMsY4AE-q-9tSc2maXdHKS27UitMCXguEQy4YlzG1w>)
- GEORGIADIS, M., MÜLLER, R. AND SCHNEIDER, P. (2016). "Techniques to assess bone ultrastructure organization: Orientation and arrangement of mineralized collagen fibrils", *Journal of the Royal Society Interface*, 13(119): 1–26. <https://doi.org/10.1098/rsif.2016.0088>.
- GIRALDO, J. (2015). "Propiedades, obtención, caracterización y aplicaciones del quitosano", University of Concepcion [Preprint]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3350.9287>.
- GIRAUD-GUILLE, M.M. (1988). "Twisted plywood architecture of collagen fibrils in human compact bone osteons", *Calcified Tissue International*, 42(3): 167–180. <https://doi.org/10.1007/BF02556330>.
- GIRAUD-GUILLE, M.M., BELAMIE, E. AND MOSSER, G. (2004). "Organic and mineral networks in carapaces, bones and biomimetic materials", *Comptes Rendus - Palevol*, 3(6-7): 503–513. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2004.07.004>.
- HEDGES, R.E.M. (2002). "Bone diagenesis: an overview of Processes", *Archaeometry*, 44(3): 319–328.

- HOWIE, F.M.P. (1984). "Materials used for conserving fossil specimens since 1930: A review", *Studies in Conservation*, 29 (sup1): 92–97. <https://doi.org/10.1179/sic.1984.29.Supplement-1.92>.
- HUGHES, J.M. AND RAKOVAN, J. (2002). "The crystal structure of apatite, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{OH},\text{Cl})$ ". En: *Phosphates: Geochemical, Geobiological and materials importance*. Kohn, M., Rakovan, J., Hughes, J.M. (eds). Washington, D.C: The Mineralogical Society of America, 1-11.
- JHA, S.K. ET AL. (2011). "Fluoride in the environment and its metabolism in humans", *Acta Medica Academica*, 211: 121–142. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8011-3_4.
- JOHNSTON, N.R. AND STROBEL, S.A. (2020). "Principles of fluoride toxicity and the cellular response: a review", *Archives of Toxicology*, 94(4): 1051–1069. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02687-5>.
- KEENAN, S.W. (2016). "From bone to fossil: A review of the diagenesis of bioapatite", *American Mineralogist*, 101(9): 1943–1951. <https://doi.org/10.2138/am-2016-5737>.
- KENDALL, C., HØIER ERIKSEN, A. M., KONTOPOULOS, I., COLLINS, M. J., TURNER-WALKER, G. (2018). "Diagenesis of archaeological bone and tooth", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 491: 21–37. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.11.041>.
- KOHN, M.J., RAKOVAN, J. AND HUGHES, J.M. (2002). *Phosphates: Geochemical, geobiological, and materials importance*, Reviews in Mineralogy and Geochemistry. Washing: Mineralogical Society of America.
- KOOB, S.P. (1984). "The consolidation of archaeological bone", *Studies in Conservation*, 29: 98–102. <https://doi.org/10.1179/sic.1984.29.Supplement-1.98>.
- LIU, Y. HU, Q., ZHANG, K., YANG, F., YANG, L., WANG, L. (2021) "In-situ growth of calcium sulfate dihydrate as a consolidating material for the archaeological bones", *Materials Letters*, 282. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2020.128713>.
- LÓPEZ-GONZÁLEZ, S., VALDEZ-VARGAS, B. J., LARA-CARILLO, E., KUBODERA-ITO, T., MEDINA-SOLÍS, C. E. (2018) "Desmineralización y remineralización dental: una revisión de la literatura". En C.E. Medina Solís et al. (eds.) *Temas actuales en Odontología*. San Francisco de Campeche: Universida Autónoma de Campeche, pp. 54–75. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/s1726-569x2011000200001>.
- LÓPEZ-POLÍN, L. (2012). "Possible interferences of some conservation treatments with subsequent studies on fossil bones: A conservator's overview", *Quaternary International*, 275: 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.07.039>.
- MARÍN-ORTEGA, S., IGLESIAS-CAMPOS, M.A., CALVO I TORRAS, M.A. (2024). "Evaluation of carbonated fossil bone consolidation by induction of calcium hydroxide nanoparticles in a Miocene *Cheirogaster richardi* specimen", *Journal of Cultural Heritage*, 70: 19–30. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2024.08.006>.
- MATICA, A., MENGHIU, G. AND OSTAFE, V. (2017). "Biodegradability of Chitosan Based products", *New Frontiers in Chemistry*, 26(1): 75–86.
- MERINO, L. Y MORALES, J. (2008). "Relación del índice de cristalinidad (IC) con la edad y el contenido de iones F y CO₃ en muestras de vertebrados fósiles", *Estudios Geologicos*, 64(1): 75–87.
- MOREIRAS REYNAGA, D.K., MUNIZZI, J. S., MCMILLAN, RHY., MILLAIRE, J. F., LONGSTAFFE, F. J. (2023). "Effects of consolidants and their removal by polar solvents on the stable isotope compositions of bone", *Quaternary International*, 660: 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.12.004>.
- NEWESELY, H. (1989). "Fossil bone apatite", *Applied Geochemistry*, 4(3): 233–245. [https://doi.org/10.1016/0883-2927\(89\)90023-1](https://doi.org/10.1016/0883-2927(89)90023-1).
- NORTH, A., BALONIS, M. AND KAKOULLI, I. (2016). "Biomimetic hydroxyapatite as a new consolidating agent for archaeological bone", *Studies in Conservation*, 61(3): 146–161. <https://doi.org/10.1179/2047058415Y.0000000020>.
- PAZ LÓPEZ, C.V. (2013). *Análisis Teórico-Práctico en la interfase Quitosano/Hueso mediante monolitos compactos y porosos*. Michoacán: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- PAZ LÓPEZ, C.V., VASQUEZ-GARCIA, S.R. Y FLORES-RAMÍREZ, N. (2016). "Interfacial analysis of chitosan/bone: cortical and cancellous bone matrices", *Superficies y Vacío*, 29(3): 70–73.
- PERSON, A., BOCHERENS, H., SALIÈGE, J. F., PARIS, F., ZEITOUN, V., GÉRARD, M. (1995). "Early Diagenetic Evolution of Bone Phosphate: An X-ray Diffractometry Analysis", *Journal of Archaeological Science*, 22(2): 211–221. <https://doi.org/10.1006/jasc.1995.0023>.
- PORPORA, F. ZARO, V., LICCIOLI, L., MODI, A., MEOLI, A., MARRADI, G., BARONE, S., VAI, S., DEI, L., CARAMELLI, D., FEDI, M., LARI, M., CARRETTI, E. (2022). "Performance of innovative nanomaterials for bone remains consolidation and effect on ¹⁴C dating and on palaeogenetic analysis", *Scientific Reports*, 12: 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10798-5>.
- PUCHE, R. Y RIGALLI, A. (2007). "Metabolismo Del Flúor En Adultos", *Actualizaciones en Osteología*, 3(1): 10–12.
- RASHED, A.A., MISNAN, N.M. Y NAWI, M.N.M. (2023). "Chitosan-based formulation for bone health: A review", *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100359>.
- RINAUDO, M. (2006). "Chitin and chitosan: Properties and applications", *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 31(7): 603–632. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.06.001>.
- ROŠIN-GRGET, K., PEROŠ, K., SUTEJ, I., BAŠIĆ, K. (2013). "The cariostatic mechanisms of fluoride", *Acta medica academica*, 42(2): 179–188. <https://doi.org/10.5644/ama2006-124.85>.
- SANSHU, L. Y BREAKER, R.R. (2012). "Fluoride Enhances the Activity of Fungicides that Destabilize Cell Membranes Sanshu", *Bioorg.*

Med. Chem. Lett., 22(9): 3317–3322. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2012.03.006>. **Fluoride**.

SIONKOWSKA, A. (2006). "Effects of solar radiation on collagen and chitosan films", *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 82(1): 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2005.08.003>.

SIVAPRIYA, E. SRIDEVI, K., PERIASAMY, R., LAKSHMINARAYANAN, L., PRADEEPKUMAR, A. R. (2017). "Remineralization ability of sodium fluoride on the microhardness of enamel, dentin, and dentinoenamel junction: An in vitro study", *Journal of conservative dentistry: JCD*, 20(2): 100–104. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_353_16.

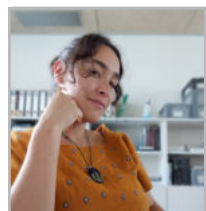
THOMAS, G. Y REEVES, P. (1997). "La Fluoración del agua. Un Manual Para Operadores de Planta de Agua". Washington D.C: Panamerican Health Organization. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/35857>

VENKATESAN, J., VINODHINI, P. A., SUDHA, P.N., KIM, S.K. (2014). Chitin and chitosan composites for bone tissue regeneration. En: *Advances in Food and Nutrition Research*. 1st edn. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800268-1.00005-6>.

VENKATESAN, J. Y KIM, S.K. (2010). "Chitosan composites for bone tissue engineering - An overview", *Marine Drugs*, 8(8): 2252–2266. <https://doi.org/10.3390/md8082252>.

WOPENKA, B. AND PASTERIS, J.D. (2005). "A mineralogical perspective on the apatite in bone", *Materials Science and Engineering C*, 25(2): 131–143. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2005.01.008>.

Autor/es



Luisa Straulino Mainou

lstraolino@iphes.cat

Institut Català de Paleoecologia Humana y Evolució Social

<https://orcid.org/0000-0003-3526-2783>

Trabaja en la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural del Instituto Nacional de Antropología e Historia, México. Es restauradora-conservadora de patrimonio cultural por la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, es maestra en Estudios Mesoamericanos por la UNAM y actualmente realiza un doctorado en Cuaternario y Prehistoria en la Universidad Rovira y Virgili y el Institut Català de Paleoecologia Humana y Evolució Social. Su trabajo se ha centrado en la conservación de patrimonio arqueológico y paleontológico; de este último particularmente de vertebrados y más específicamente de fauna del Pleistoceno. Ha colaborado en proyectos internacionales, por ejemplo, en un proyecto de la Universidad de Tarapacá, Chile para la conservación e investigación de un megaterio encontrado en el Desierto de Atacama. Su labor de investigación se ha enfocado en el diagnóstico integral del patrimonio arqueológico y paleontológico utilizando diversas técnicas analíticas como la petrografía, la microscopía electrónica de barrido, difracción de rayos x e infrarrojo por transformada de Fourier. En el análisis de elementos óseos ha incorporado la histotafonomía como una herramienta indispensable de diagnóstico.

Tiene diversas publicaciones tanto académicas como de divulgación y ha organizado y participado en diversos congresos nacionales e internacionales. Ganó mención honorífica en los premios INAH con su tesis de licenciatura en el premio "Paul Coremans" por su tesis: *Fluoruro de sodio: ¿Una alternativa para la conservación de piedra caliza disgregada a través de la remineralización? El caso de la cornisa del edificio 5N2 del Grupo A en Río Bec, Campeche* y por su tesis de maestría en la categoría "Alfonso Caso" por su tesis: *Hacer mezclas de cal en Dzibanché durante el Clásico temprano: la temporalidad y la función arquitectónica como determinantes*.



Luisa Mainou Cervantes

gatomainou@hotmail.com

Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural-INAH

<https://orcid.org/0000-0003-2855-020X>

Trabaja en la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural del Instituto Nacional de Antropología e Historia, México desde hace 30 años. Es restauradora-conservadora de patrimonio cultural por la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía y es maestra en Museología por la misma institución. Su labor se centra sobre todo en los materiales de origen orgánico o mixto. Realiza investigación y elaboración de métodos y procesos de conservación compatibles con la naturaleza de los bienes culturales orgánicos, que sean retratables, biodegradables, amigables con el medio ambiente y que no perjudiquen la salud de quien manipula los objetos. Es reconocida por su labor en la conservación de hueso y ha sido designada para la conservación de elementos óseos de importancia histórica para México como lo son las osamentas de los Héroes de la Independencia, las de los Hermanos Serdán y la de Sor Juana Inés de la Cruz y de diversas osamentas de individuos prehispánicos así como de contexto forense. Además, colabora con la Universidad Autónoma de Yucatán en la conservación directa e indirecta de la colección osteológica de referencia de Xoclán y ha participado en proyectos internacionales conservando osamentas mayas en Guatemala. Otra rama de su labor como restauradora es la investigación de los procesos de deterioro y degradación del patrimonio cultural por medio de la microscopía electrónica de barrido. Ganó el premio INAH de licenciatura "Paul Coremans" por su tesis: *La detección de las palomas Columbi livia como factor bioalterante de las fachadas de la Santa Veracruz y San Juan de Dios, Ciudad de México*.

Artículo enviado 01/04/2025
Artículo aceptado el 06/08/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1377>

Estudio y conservación de un *graffiti*. Intervención de una firma de Muelle en Vigo

Andrea Fernández Arcos, Sabela Hermelo Veiga

Resumen: Los *graffitis*, acto vandálico a priori, reciben desde hace poco tiempo la atención de los profesionales de la conservación del patrimonio, que se enfrentan a las particulares problemáticas de estas piezas (ilegalidad o alegalidad, exposición a la intemperie, normativa o directrices de referencia escasas...) con un aún estrecho corpus teórico de referencia, por lo que la posibilidad de realizar estos trabajos son una oportunidad para avanzar en su conocimiento y conservación. El descubrimiento casual de una firma de Juan Carlos Argüello, pionero español del *graffiti* conocido como Muelle, unido a la voluntad de la administración por conservarlo, ha permitido el diseño de una campaña de trabajo dirigida a su estudio y conservación que ha posibilitado avanzar en este ámbito.

Palabras clave: conservación, restauración, arte contemporáneo, *graffiti*, Muelle

Study and conservation of a graffiti. Intervention of a Muelle's signature in Vigo

Abstract: Graffiti, an act of vandalism a priori, has recently received the attention of heritage conservation professionals, who face the particular problems of these pieces (illegality or unregulated, exposure to the outdoors, scarce regulations or reference guidelines...) with a theoretical corpus of reference that is still scarce, which is why the possibility of carrying out these works represents an opportunity to move forward in their knowledge and conservation. The random discovery of a signature by Juan Carlos Argüello, the spanish graffiti pioneer known as Muelle, together with the administration's desire to preserve it, has led to the design of a work campaign aimed at its study and conservation, which has made it possible to make progress in this area.

Keywords: conservation, restoration, contemporary art, graffiti, Muelle

Estudo e conservação de um graffiti. Intervenção numa assinatura de Muelle em Vigo

Resumo: Os *graffitis*, um ato de vandalismo à primeira vista, têm recebido recentemente a atenção dos profissionais da conservação do património, que enfrentam as problemáticas particulares destas obras (ilegalidade ou alegalidade, exposição às intempéries, escassez de normas ou diretrizes de referência...) com um corpus teórico ainda limitado. A possibilidade de realizar estes trabalhos é uma oportunidade para avançar no seu conhecimento e conservação. A descoberta casual de uma assinatura de Juan Carlos Argüello, pioneiro espanhol do *graffiti* conhecido como Muelle, juntamente com a vontade da administração em conservá-lo, permitiu o planeamento de uma campanha de trabalho direcionada para o seu estudo e conservação, possibilitando avanços nesta área.

Palavras-chave: conservação, restauro, arte contemporânea, *graffiti*, Muelle

Introducción

En 2023 tuvo lugar la campaña de estudio e intervención de una firma realizada por Juan Carlos Argüello 'Muelle' [Figura 1], descubierta en Vigo en el transcurso de unas obras urbanísticas vinculadas a la zona de aparcamiento de la estación de ferrocarril de Vigo - Urzáiz y del Centro Comercial Vialia. Tras el descubrimiento de la firma, el Ayuntamiento de Vigo solicitó la colaboración de la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Galicia (en adelante, ESCRBBCCG), que organizó una campaña de trabajo con la finalidad de estudiar y tratar el graffiti^[1] para su conservación en paralelo a los objetivos docentes que le son propios.

La obra pertenece a Juan Carlos Argüello Garzo, conocido como Muelle y considerado como pionero del 'Graffiti español', particularmente del llamado 'Graffiti autóctono madrileño'. Juan Carlos Argüello (Madrid, 1965-1995) inició su actividad en 1982 pintando con rotulador en las calles de Madrid el nombre de su grupo musical 'Salida de emergencia'. En 1984 comenzó a escribir su apodo, Muelle, mote sobrevenido al incorporar un resorte de moto en su bicicleta. Inicialmente, era tan sólo la palabra, a la que fue incorporando detalles progresivamente: en 1985 incluyó un tirabuzón finalizado en una flecha como forma de subrayar la palabra; en este momento el aerosol era ya la forma habitual de expresión y combinaba colores para crear efectos. La flecha característica que se observa bajo las letras promovió el nombre del 'estilo flechero' por el que

fue conocida esta forma de creación. En 1987 incluyó una R cerrada en un círculo en la zona superior derecha de la firma, el símbolo habitual para referirse a las marcas registradas, pues registró su firma en la Oficina de Patentes y Marcas. Juan Carlos Argüello también promovió una 'ética grafitera', que implicaba el respeto a la propiedad privada. Su obra se concentra especialmente en Madrid, pero también aparece en las ciudades que visitó, como Londres o Nueva York y, especialmente, en ciudades gallegas donde solía pasar temporadas vacacionales. En 1993 cesó esta actividad por considerar que 'su mensaje estaba agotado' y ya en 1995 falleció a causa de un cáncer.

Las piezas de Muelle eran una forma de comunicación con su entorno: *"cuando pintas te sientes vivo y por un momento se te olvida que eres masa. En esta ciudad hay demasiada mierda y demasiada soledad. De este modo le regalamos a la gente un poco de nosotros mismos"* [2].

El graffiti

La obra objeto de estudio fue su característica firma realizada en aerosol, o 'tag' como se nombra habitualmente. La pieza está en un muro, en la actualidad propiedad de ADIF, que actúa de elemento divisor entre la Calle San Lourenzo y la carretera que une esta calle con el aparcamiento exterior de la Estación del ferrocarril de Vigo y el Centro Comercial Vialia. Con el fin de salvar el desnivel de estas dos vías se hizo un muro de 215 cm de sillares graníticos y sobre éste, dejando



Figura 1.- Aspecto del paramento y de la firma antes de la intervención.

una base de 85 cm de ancho, se creó un nuevo muro de bloques verticales, también de granito, de 1,94 cm de alto y unidos entre sí con mortero. Esta argamasa está formada por cemento portland con arena y restos de ladrillo, de tejas y de conchas marinas, según se pudo observar. Estas fases de mortero tienen un ancho promedio de 5 cm. El revoco del borde superior, de composición semejante, tiene una altura de 16,5 cm. Una reordenación reciente de esta zona implicó la creación de unas escaleras, lo que dio lugar a la eliminación de la cubierta vegetal del muro, el descubrimiento del *graffiti* y el posterior interés del Ayuntamiento de Vigo por su estudio y conservación.

La pieza está realizada sobre cinco de los bloques de granito mediante pintura en aerosol. Se usaron dos colores: un color blanco con el que se hizo el trazado inicial, de recorrido lineal, y un color negro aplicado posteriormente, de trazo discontinuo, con el que se aportó una cierta sensación de profundidad. Se analizó la composición de ambos colores a partir de una muestra tomada en la zona del final del resorte, entre los bloques 2 y 3, por resultar más fácil su extracción. Como resumen de los resultados^[3], la pintura está formada por una base de resina alquídica con detección de blanco de titanio, en mayor concentración en la pintura blanca. La muestra negra también tiene presente este pigmento, pero el color viene determinado por otro de naturaleza carbonosa [Figura 2]. Ante la ausencia de datos de referencia publicados, no es posible identificar con solvencia la marca de pintura empleada. En todo caso, y aunque no es posible afirmar que Juan Carlos Argüello utilizase los mismos recursos que solía usar en Madrid, la marca de pintura empleada por el artista en los años 80 fue Novelty^[4], según datos facilitados por Fernando Argüello, hermano del artista y persona que se encarga de mantener su legado (Hermelo Veiga 2024:70).

La morfología de la firma, con dos colores -blanco y negro- en aerosol, con el muelle finalizado en una flecha bajo la palabra y la R inscrita en un círculo sitúan cronológicamente esta firma entre 1987 y 1993. En Vigo existen otras firmas del mismo autor, como la de la Plaza de Compostela

[Figura 3] que, además de ser más pequeña y estar en peor estado de conservación, está realizada con un único trazo de color negro. Está documentada otra pieza del mismo autor, ya desaparecida, con la que comparte mayores similitudes morfológicas, localizada en las escaleras de la Rúa Talude (Santos-Hermo 2022).



Figura 3.- Graffiti de Muelle en Plaza de Compostela nº8, Vigo.

Análisis de los agentes de alteración

La situación de exposición a la intemperie es, sin duda, el condicionante clave para comprender el estado de conservación del bien y, especialmente, para el diseño de medidas de prevención de cara al futuro. Vigo es una ciudad con climatología de tipo oceánico, con una precipitación media de 1303 mm, de modo que la firma se puede ver afectada por la lluvia, pero también por la elevada humedad ambiental, el agua de infiltración y de escorrentía. La marca de agua en la piedra atribuible al ascenso por capilaridad no alcanza la parte baja del *graffiti*, según se puede observar en la Figura 1. Por otra parte, gracias a las temperaturas templadas que caracterizan



Figura 2.- Fotografías al microscopio estereoscópico (a la izquierda, pintura blanca; a la derecha, pintura negra). Fotografías procedentes del informe de Laboratorio Diagnostica per il restauro, Asesoramiento y Diagnóstico para la Conservación y la Restauración.

a esta localidad, no cabe pensar en la consecuencia que puedan tener las heladas. La temperatura es, en general, suave con variaciones entre los 5-10 °C en invierno y hasta los 25-30 °C en primavera-verano. También hay que considerar la temperatura que puede alcanzar la superficie del *graffiti* a causa de la incidencia de la radiación solar. Esta incidencia depende a su vez de dos circunstancias: la variación según el momento del día y la época del año, y la orientación del muro. La principal exposición del *graffiti* es de luz solar. Esta incidencia es mayor en junio y julio y menor en los meses de invierno. Por otra parte, Petazzi y Salsón advierten una mayor radiación en las Rías Baixas a causa de la atmósfera limpia y con pocas nubes (2011). La orientación de la pieza es NO, por lo que está libre de la incidencia solar en los momentos de mayor intensidad, cuando además cuenta con la protección indirecta de una arboleda próxima [Figura 4].

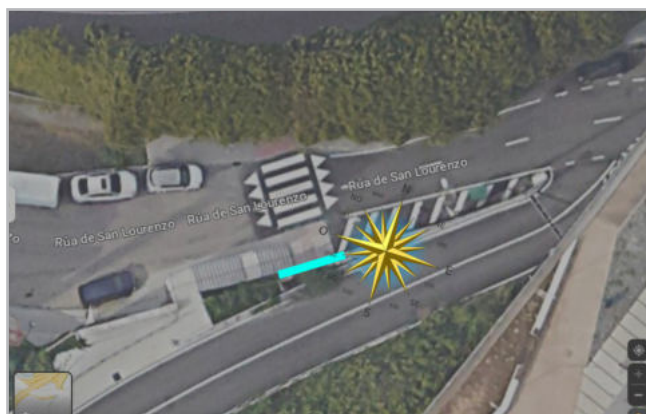


Figura 4.- Orientación del mural. El *graffiti* está señalado en el rectángulo azul.

Delante del *graffiti* crecía abundante vegetación que imposibilitaba su visión, motivo por el que pasó desapercibido hasta su reciente descubrimiento, que tuvo lugar precisamente al retirar estas plantas que de alguna manera beneficiaron su conservación, pues mitigaron el impacto de las variaciones ambientales y el efecto del vandalismo. Así lo sugieren, al menos, las imágenes tomadas por la empresa Google Maps en octubre de 2008, julio de 2013 o mayo de 2014. El efecto del viento es de carácter erosivo, siendo más agresivo si va acompañado de partículas sólidas, sin embargo, la vegetación que estaba situada delante de la pintura probablemente disminuyó su efecto. En relación con el biodeterioro, la obra tenía depósitos de origen animal sobre la pintura y en zonas próximas, tales como telarañas, deyecciones de aves o rastros de gasterópodos.

Este *graffiti* está próximo a uno de los accesos de la autopista A9 y a zonas de alta densidad de tráfico como la Travesía de Vigo, Isaac Peral, Urzáiz y el Areal, por lo que es razonable pensar que en esta área se encuentran algunas de las mediciones de contaminantes más altas detectables en Vigo. Los contaminantes ambientales controlados en esta urbe en 2022 fueron SO₂, NO₂, NO_x, CO, O₃, metales

pesados y material particulado en suspensión, siendo el dióxido de nitrógeno, los óxidos de nitrógeno, las partículas ambientales y el ozono los que presentaron mayores concentraciones (Vicepresidencia Segunda e Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda 2023:84).

Dada la situación concreta de esta firma, a 290,6 cm de altura sobre el suelo y separado del paso habitual de peatones, no cabe pensar en la posibilidad de daño inconsciente, de manera que todo el daño posible de carácter antrópico a esta pieza será una agresión voluntaria, cualquiera que sea el motivo. Dentro de los daños conscientes, uno de los más habituales son los *graffitis*, pues la territorialidad propia de esta manifestación tiene su expresión en la realización de tags o firmas sobre las firmas ajenas. Otros actos vandálicos habituales en obra mural situada en exterior son los chicles adheridos, los arañazos de la superficie o la adhesión de carteles, localizados fundamentalmente a una altura cómoda para el agresor. En el momento de la inspección, la pieza no presentaba ninguna de estas alteraciones. Finalmente, delante de la firma había una barra metálica de color naranja, probablemente relacionada con algún sistema de señalización actualmente en desuso.

Otros agentes de alteración examinados con frecuencia no son de aplicación en este caso, como el riesgo sísmico, ya que Vigo no se encuentra entre las ciudades afectadas por este factor en la Península Ibérica. En cambio, sí cabe esperar riesgo derivado de vibraciones transmitidas desde el suelo en zonas con gran densidad de tráfico, especialmente cuando este es más pesado, de tipo industrial. En cuanto al fuego, la situación del *graffiti* y las condiciones del entorno no inclinan a considerarlo un riesgo.

Examen organoléptico

El soporte pétreo estaba en buen estado de conservación, con los bloques de granito estables y bien insertados en el terreno cuando se llevó a cabo la intervención, si bien ya se habían realizado unos trabajos de estabilización del muro derivados de una revisión previa, en 2022. El mortero de unión entre sillares evidenciaba buena conservación, aunque se observaron algunas fisuras y pequeñas faltas. Por su parte, la firma presentaba un aceptable estado de conservación a pesar de la técnica de ejecución y la exposición exterior, aunque la mitad inferior se mostraba en mejor estado que la superior. Se detectaron algunas faltas, más abundantes en el color negro que en el blanco, que en este caso parecía puntualmente más pulverulento. Sobre el mortero es donde las faltas eran más evidentes en los dos colores, conservándose mejor aquí el color negro [Figuras 5 y 6].

Una gruesa capa de suciedad originada por polvo, contaminantes ambientales y pequeños agregados de tierra cubría ambos colores y el soporte. También se encontraron depósitos de diversos insectos: telarañas, restos de mudas o restos de exoesqueleto. En la mitad



Figura 5.- Faltas pictóricas localizadas en naranja.



Figura 6.- Detalle del trazo en ambos colores del graffiti.

inferior del bloque 2 había una mancha anaranjada y grisácea, ubicada justo donde se localizaba la barra metálica, que mostraba signos de oxidación. Es precisamente en el mortero localizado detrás de esta pieza donde se concentraba la mayor densidad de pérdidas pictóricas. En el tercio inferior de este mismo bloque se encontraron salpicaduras de pintura roja y naranja que podrían tener su origen en la instalación de la señal y algunas gotas de estos mismos colores, de pequeña dimensión, sobre distintas partes de la firma. El color naranja coincidía con el de la barra metálica aún presente ante la firma cuando se comenzó este proyecto. En definitiva, pese a los depósitos superficiales y las pérdidas de materia pictórica existentes, era posible la lectura completa y sin esfuerzo del *graffiti*.

Tratamiento realizado

Algunos estudios analizan las dificultades éticas que plantea la conservación restauración de los *graffitis*, en coherencia con su propia filosofía de creación (Santabárbara Morera 2016; Bonadio 2022; Saldábola 2022). En este caso particular, la firma de Muelle reaviva la importancia de Juan Carlos Argüello dentro de la historia de este movimiento y recuerda su paso por Vigo, una ciudad también muy activa en la movida de los años 80, ciudad que en los últimos años muestra un especial interés por la promoción y conservación del arte urbano en sus diferentes variantes. De hecho, la iniciativa de la actuación parte del Ayuntamiento de Vigo, lo que pone en evidencia el reflejo de la preocupación social por su conservación, y tiene como objetivo su conservación y puesta en valor al amparo del programa de arte urbano "Vigo. Cidade de cor", organizado por el Ayuntamiento.

No existen muchos casos de iniciativas para conservar *graffitis*, pero hay algunos ejemplos, como la intervención de "Madonna con niño" en Berlín de Xavier Prou, conocido como Blek Le Rat (Rubia López 2013:57), el tratamiento aplicado a la pieza creada por Keith Haring en Stedelij (Beerkens y Mager 2005) u otras de este mismo artista en Italia, Australia y España (García Gayo 2015:11). Esta intervención en particular contaba con un antecedente directo en la realizada a la firma de Muelle en la madrileña Calle de la Montera (García Gayo 2017), tratamiento pionero en España, enmarcado también en un contexto docente, que se tuvo presente en el diseño de este proyecto.

A pesar de no ser uno bien protegido jurídicamente, la intervención se realizó respetando las indicaciones de la normativa vigente en materia de conservación y restauración de bienes culturales: Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español en el art. 39 y Ley 5/2016, de 4 de mayo, del patrimonio cultural de Galicia, en lo dispuesto en el art. 44 a-i. Como es habitual en el ámbito de la conservación y restauración, se tuvieron en cuenta, además, las indicaciones del Código Deontológico de E.C.C.O. [5]. Dadas las características particulares de la obra, se tuvo presente el dispuesto en materia de arte urbano por el Grupo de Trabajo de Arte Urbano y Público del Grupo Español del International Institute of Conservation (Grupo de Arte Urbano y Público 2016). Pese a la exposición a numerosos agentes de alteración que son consecuencia directa de su ubicación, no se consideró un posible traslado de la pieza ya que su propia situación es una decisión del artista dotada de importancia (Amor García 2023:257). De forma concreta y dado el buen estado de conservación de la pieza, se estimó primar el tratamiento de conservación curativa, aplicando un criterio estricto de mínima intervención necesaria para conservar el material original y facilitar la lectura de la pieza. Además, se consideró prioritario prever los daños por vandalismo, así como trabajar en el diseño de medidas de conservación preventiva que permitan, con revisiones periódicas y pequeñas intervenciones de mantenimiento, preservar el *graffiti* a largo plazo.

Por solicitud del Ayuntamiento, se hizo una primera inspección de la pieza en 2022, cuando se descubrió la firma. En ese momento se realizó a los responsables una propuesta de medidas inmediatas: la prioridad era el asentamiento del soporte, pues el muro estaba afectado por el movimiento del terreno posterior. En ese momento, el trabajo requería precaución para no afectar a la estabilidad del tabique. Además, era necesario realizar la consolidación estructural de los bloques de piedra que conformaban la pared que actúa de soporte. También se propuso la retirada de la vegetación próxima para poder acceder a la pintura y la eliminación de la barra metálica que estaba situada delante de la pieza, que impedía su correcta visualización y que provocaba manchas de óxido en la piedra.

La fase de estudio e intervención tuvo lugar en junio de 2023. En este momento ya se había retirado la barra metálica situada delante del *graffiti* para permitir su completa visualización y para evitar que la mancha anaranjada que provocaba en la piedra continuase extendiéndose. También se eliminó la vegetación anterior y posterior del muro para evitar el biodeterioro y para facilitar el acceso a la pintura, y en la base de la parte anterior del muro se dispuso un material textil cubierto de pequeñas piedras de tipo granítico con el fin de dificultar el crecimiento de vegetación, según recomendaciones realizadas en anteriores inspecciones. Estos trabajos fueron realizados por operarios ajenos a la ESCRBBCCG el 16 de junio de 2023, momento a partir del cual la pieza quedó desprovista de la protección de plástico. Los restos vegetales aún presentes sobre la base fueron retirados durante la campaña de trabajo.

La intervención concreta sobre la obra comenzó con una limpieza mecánica con brochas y pinceles de distinta dureza sobre la superficie de los 5 bloques implicados. Posteriormente, se eliminaron a punta de bisturí las manchas de pintura roja y naranja detectadas sobre la piedra. Algunas de estas manchas resultaron resistentes a la limpieza mecánica y fue necesario emplear otros



Figura 7.- Procedimiento de limpieza de la superficie.

métodos, como un gel de acetona. Para mitigar la mancha anaranjada de la piedra provocada por la oxidación de la barra metálica, especialmente extendida en el bloque 2, se trató en el área que no afectaba al *graffiti* con ácido fórmico al 4% y lavados sucesivos hasta la neutralización. Por su parte, la pintura y la superficie próxima del soporte se limpiaron en seco y empleando humedad puntualmente para la retirada de concreciones. El tratamiento prosiguió con la aplicación de mortero de unión en las zonas que presentaban grietas y en las faltas del mortero de unión original. No se realizó reintegración cromática al considerarse que la cantidad de pintura original es suficiente para entender y disfrutar de la firma [figura 8]. Se consolidó la pintura con una aplicación de Paraloid® B72 al 3.5% en Dowanol, aplicado a pincel, lo que supuso un incremento suave de la saturación. Para proteger la firma del vandalismo, se aplicó una protección de Art Shield 1 en dos capas dentro de un perímetro próximo a la firma. No se observó cambio cromático ni de brillo después de la aplicación del producto y las mediciones de control colorimétrico mostraron cambios sutiles [Tabla 1]. Sobre el



Figura 8.- Imagen final, una vez retirado el andamio.

Ubicación	Muelle		Tirabuzón	
Color	Inicio	Final	Inicio	Final
Blanco	178,168,160	179,170,162	183,176,169	187,178,167
Negro	58,56,54	37,36,36	49,48,47	51,51,51

Tabla 1.- Medidas de color sRGB con color Picker de Colormunki Photo antes y después de la aplicación del consolidante y de la capa protectora.

mortero horizontal que refuerza la unión de los bloques por el lado superior se aplicó hidrofugante Aquashield Fuerte de TECNAN con el fin de evitar el acúmulo de agua de lluvia en esta sección o su infiltración en la piedra.

Al finalizar la intervención se realizó una fotogrametría [Figura 9] con el fin principal de facilitar el control del estado de conservación mediante la comparación de la pieza con esta imagen de alta calidad. Esta imagen también podrá usarse con fin divulgativo. Con este fin,



Figura 9.- Imagen de la fotogrametría en un visor 3D.

se puso a disposición del Ayuntamiento de Vigo por si la considera de utilidad para compartir a través de los medios institucionales oportunos. Con este mismo objetivo la imagen fue también compartida a través de la web de la ESCRBBCCG en el espacio creado para dar difusión a esta campaña de trabajo. Finalmente, la fotogrametría constituye un documento de gran calidad que permite conservar información detallada de la pieza en caso de que su estado de conservación empeore irreversiblemente, bien por el paso del tiempo y los factores climáticos, bien por causas derivadas del factor antrópico.

La intervención se acompañó de tareas de difusión desde el inicio de la actividad con publicaciones en las redes sociales de la Escuela en los días que duró la campaña y el diseño de una publicación estable en la sección ‘Campañas’ en la web del centro.

Propuesta de conservación preventiva y plan de mantenimiento

Ya avanzaba Chatzidakis que no es posible conservar el arte callejero del mismo modo que se actúa con los bienes custodiados en museos sin afectar a su identidad, propósito y características (Chatzidakis 2018:104). En este caso, la situación exterior del *graffiti* dificulta la implementación de medidas de conservación preventiva, ya que muchos de los factores de riesgo son apenas controlables. No obstante, algunas actuaciones pueden beneficiar la conservación a medio-largo plazo de la pintura, por lo que se realizaron una serie de recomendaciones de conservación preventiva y de mantenimiento a los responsables del bien, a llevar a cabo por los profesionales por ellos designados. Con el fin de mermar la probabilidad de vandalismo, se recomendó transformar la superficie plana de 88 cm que hay delante del muro, en la cara que da a la Calle de San Lourenzo, en un plano inclinado que suponga una dificultad para el equilibrio en bipedestación. A pesar de que las pintadas vandálicas son susceptibles de aparecer en condiciones muy complicadas, la comodidad aumenta la probabilidad de que se lleven a cabo. También se propuso la instalación de un panel que explique la importancia de este *graffiti* en particular e informe sobre su autor. De este modo, la

población entenderá la especial consideración que merece esta firma, facilitando su aprecio, disfrute y minimizando la posibilidad de agresiones voluntarias.

Para reducir el impacto del agua, de escorrentía y de infiltración, se propuso la instalación de una cornisa a dos aguas sobre la franja de muro que afecta a la pieza. En relación con la radiación solar, conviene realizar un análisis de la incidencia del sol y su efecto para poder implementar medidas de cara a paliar el efecto de este factor. En este sentido, los árboles que crecen del otro lado de la calle San Lourenzo pueden tener un efecto protector de la pintura en tanto que limitan la incidencia de la radiación directa en determinados momentos del día, por lo que conviene estimar con precisión este factor y tenerlo presente en la gestión de este arbolado.

Con la finalidad de mantener el *graffiti* en el mejor estado de conservación posible, minimizando la necesidad de intervenciones en el futuro, hace falta implementar una serie de tareas de mantenimiento. Se han propuesto controles periódicos del crecimiento de la vegetación que pueda afectar al *graffiti*. También se considera necesaria la inspección periódica para detectar la presencia de vandalismo, de modo que ante pintadas vandálicas se reaccione con una rápida retirada para evitar que se propaguen, pues es habitual que tengan un efecto ‘llamada’. Además, debe evaluarse anualmente el estado de la capa protectora de la pintura y del hidrofugante superior para comprobar que mantienen su eficacia. La persona encargada de la inspección, profesional de conservación-restauración, determinará la necesidad de realizar una limpieza superficial para retirar eventuales depósitos de suciedad, de manera que se garantice la correcta visualización de la pieza y se evite la posibilidad de nuevos daños, como el acúmulo de depósitos que favorezcan el biodeterioro.

La legislación vigente no contempla la protección de *graffiti* singulares pese a que análisis como el de Guesalaga Oyarbide (2020) confirma la existencia de valores patrimoniales en estas formas de expresión que permitirían tal encaje. Por este motivo, Elena García Gayo y Fernando Figueroa iniciaron en 2012 un procedimiento de incoación como BIC para el *graffiti* de Muelle localizado en la calle de la Montera (García Gayo 2017:169), que desafortunadamente no alcanzó buen puerto en aquella ocasión, aunque favoreció su conservación como un elemento patrimonial destacado del Madrid de los 80 y reflejó la nueva percepción social de este tipo de expresiones. Sin embargo, es una estrategia conveniente por lo que, a pesar de este precedente y, dada la singularidad del *graffiti* encontrado en Vigo, procedería una nueva tentativa con esta pieza.

Conclusiones

La intervención realizada cumple con los requisitos emanados por las entidades especialistas en conservación-restauración de patrimonio cultural y, especialmente, en conservación

de arte urbano. La propuesta pretendía realizar una mínima intervención a la pieza, poniendo el énfasis en la preservación de la materia original, permitiendo una idónea conservación y disfrute, y aplica y propone una serie de medidas de prevención de cara al futuro, que pretenden ser mínimamente invasivas y eficaces en el control de los daños previsibles.

Cabe no olvidar que se trata de una pintura muy delicada, expuesta a una serie de factores no controlables, por lo que su conservación requiere de atención sostenida en el tiempo y, en previsión de una eventual pérdida del graffiti por el motivo que fuere, se realizó una fotogrametría que permitirá la conservación documental de la pieza con una imagen tridimensional de alta calidad.

Esta intervención supone un paso más en un campo que requiere la implicación de los profesionales de la conservación restauración para avanzar en el diseño de criterios, procedimientos y materiales que se adapten a la fragilidad y particulares necesidades de estas piezas.

Notas

[1] *Graffiti*, con mayúscula, es el nombre con el que se reconoce a estas obras para diferenciarlas de los grafitis históricos (García Gayo 2017:168).

[2] Palabras recogidas en el documental ¿Quién fue Muelle? El primer escritor de graffiti en Madrid, creado por el grupo Street Art Málaga.

[3] Se tomaron muestras de pintura y mortero y se encargó el análisis al Laboratorio Diagnostica per il restauro. Las técnicas de análisis realizadas fueron microscopía óptica estereoscópica, microscopía óptica de luz polarizada transmitida sobre lámina delgada, espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR) y fluorescencia de rayos X.

[4] Novelty era una marca que se comercializaba como pintura doméstica en aerosol. La fábrica, según indicación del envase, era Weico, S. A., ubicada primero en C/ Bembibre, 15, Fuenlabrada, Madrid y posteriormente en C/ Torre del Bierzo, 29, en la misma ciudad.

[5] European Confederation of Conservator-Restorers Organisations.

Agradecimientos:

Este proyecto se llevó a cabo gracias a la colaboración del Ayuntamiento de Vigo y ADIF.

Referencias bibliográficas

AMOR GARCÍA, R. L. (2023). "Conservation of Graffiti: Ethics and Practices", goINDIGO, 250-259. <https://doi.org/10.48619/indigo.v0i0.714> [Consulta: 17 de diciembre de 2024].

BONADIO, E. (2022). Preservation and Heritagisation of Street Art and Graffiti. En Research Handbook on Intellectual Property and Cultural Heritage. Chipre, Ed. Irini Stamatoudi, 170-190.

CHATZIDAKIS, M. (2018). "Preventive Conservation and Monitoring of Street Art, Graffiti, and Public Murals: Education and Training as an Effective Tool". En VI Congreso del GELIC. *¿Y después? Control y mantenimiento del Patrimonio Cultural, una opción sostenible*, Vitoria-Gasteiz, 96-105.

ECCO, European Confederation of Conservator-Restorer's Organisations. (1993). Professional Guidelines, Bruselas. Revisión 2003. <http://www.ecco-eu.org/about-e.c.c.o./professional-guidelines.html> [Consulta: 2 de abril de 2023].

GARCÍA GAYO, E. (2015). Street art conservation. The drift of abandonment. En *Street Art & Urban Creativity*, 1, 99-100.

GARCÍA GAYO, E. (2017). Restauración del Muelle de Montera. Gestión, innovación y riesgos. En *18ª Jornada Conservación de arte contemporáneo*, febrero 2017, ISBN 978-84-8026-562-1, 167-177.

GRUPO DE ARTE URBANO (2016). "Anexo I. Propuesta de código deontológico para la conservación y restauración de arte urbano", Monográfico Arte Urbano. Conservación y Restauración de Intervenciones Contemporáneas. *Ge-Conservacion* 10: 186-192. <https://doi.org/10.37558/gec.v10i0.419>. <http://observatoriodearteurbano.org/wordpress/wp-content/uploads/2017/01/Ge-conservacio%CC%81n-N%C2%BA10-Suplemeto-Arte-Urbano.pdf> [Consulta: 4 de abril de 2023].

GUESALAGA OYARBIDE, I. (2020). Consideración del graffiti como manifestación artística y su necesidad de protección y conservación a través de su reconocimiento como patrimonio cultural. TFM inédito. Granada, Universidad de Granada.

HERMELO VEIGA, S. (2024). Protección de grafitis urbanos. Propuesta para la firma de Muelle en Vigo. TFE inédito. Pontevedra, Escola Superior de Conservación e Restauración de Bens Culturais de Galicia.

BEERKENS, L., Y MAGER, S. (2005). Keith Haring: art or graffiti. The restoration of Keith Haring's Drawing on elevator (1986) in the *Art Academy Utrecht. Beiträge zur Erhaltung von Kunst-und Kulturgut*, (2): 114-122.

PETTAZZI, A. Y SALSÓN CASADO, S. (2011). Atlas de radiación solar de Galicia. Santiago de Compostela, Ed. Xunta de Galicia. https://www.meteogalicia.gal/datosred/infoweb/meteo/docs/publicacions/libros/Atlas_Radiacion_Solar_Galicia.pdf. [Consulta: 16 de abril 2019].

RUBIA LÓPEZ, E. DE LA (2013). Arte urbano: graffiti y posgraffiti. Acercamiento de la problemática. TFM inédito. Valencia, Universitat Politècnica de Valencia.

SALDÁBOLA, S. (2022). Issues Concerning the Preservation of Graffiti. Developing Conservation Practices Worldwide. *Culture Crossroads* 9: 95-103.

SANTABÁRBARA MORERA, C. (2016). La conservación del arte urbano. Dilemas éticos y profesionales. *Ge-Conservación* 10: 160–168. <https://doi.org/10.37558/gec.v10i0.409>

SANTOS-HERMO, A. (2022). Hallazgo y autenticación de una firma de Muelle en la ciudad de Vigo. En *V Congreso Internacional en Artes Visuales ANIAV 2022 RE/DES Conectar*. <https://doi.org/10.4995/ANIAV2022.2022.15447> [Consulta: 16 de abril 2023].

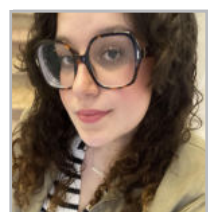
STREET ART MÁLAGA. (2021). ¿Quién fue Muelle? El primer escritor de graffiti en Madrid. Disponible en https://www.youtube.com/watch?v=O3V62Ms_xj8. [Consulta el 17 de junio de 2023].

VICEPRESIDENCIA SEGUNDA E CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE, TERRITORIO E VIVENDA (2023). *Informe anual da calidade do aire de Galicia 2022*. Santiago de Compostela, Xunta de Galicia.

Autor/es

	Andrea Fernández Arcos afarcos@edu.xunta.gal ESCRBBCCG https://orcid.org/0000-0002-3967-0306
--	--

Titulada por la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Galicia (2003), Máster en Conservación, Restauración y Exposición de Bienes Culturales por la Universidad Complutense de Madrid (2009), Postgrado en Gestión, Preservación y Difusión de Archivos Fotográficos por la Universidad Autónoma de Barcelona (2014), Doctora en Protección del Patrimonio Cultural por las Universidades de Vigo y Santiago de Compostela. Trabajó en el Museo Nacional Thyssen-Bornemisza (2004-5), Museo Nacional del Prado (2005-8) o el Museo del Traje-CIPE (2010-13), entre otros. Desde 2013 pertenece al Departamento de conservación restauración de bienes pictóricos de la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Galicia.

	Sabela Hermelo Veiga sabelahermelo99@gmail.com Autónoma
---	--

Graduada en Conservación y Restauración de Bienes Culturales por la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Galicia, por la especialidad de pintura (2024). Entre 2023 y 2024 ha participado en la exposición internacional de *"Identities Partilhadas: Pintura espanhola em Portugal"*, realizada por el Museu Nacional de Arte Antigua de Lisboa y actualmente se encuentra trabajando en múltiples proyectos relacionados con la conservación y restauración de patrimonio

Artículo enviado 06/05/2025
Artículo aceptado el 01/09/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1193>



El arte urbano y la gestión urbana en la manutención del espacio público. La administración del Paseo Bandera en Santiago de Chile

Hernán A. Elgueta Strange

Resumen: El arte urbano transforma la percepción y el uso del espacio público mediante intervenciones que generan expresiones diversas en el entorno urbano, con efectos que pueden modificar la imagen de la ciudad y ofrecer referentes culturales. En el caso del Paseo Bandera, la incorporación del arte en el espacio urbano impulsó un proceso de apropiación e identidad, convirtiendo una vía vehicular en un espacio peatonal. Sin embargo, el uso continuo del espacio puede alterar o deteriorar las intervenciones artísticas, provocando un deterioro urbano. La gestión de estos espacios requiere un plan adecuado de administración y mantenimiento. No obstante, la falta de recursos, el desconocimiento técnico y la incoherencia en los planes de mejora dificultan este proceso, ya que las obras de arte urbano demandan intervención de especialistas. Por ello, documentar y estudiar modelos de gestión permite anticipar acciones sobre el espacio, contribuyendo así a mejorar la calidad de vida urbana y fortaleciendo el sentido de pertenencia en las comunidades.

Palabras clave: arte urbano, gestión urbana, intervención, identidad, Paseo Bandera

Urban art and urban management in the maintenance of public space. The administration of Paseo Bandera Santiago de Chile

Abstract: Urban art transforms the perception and use of public space through interventions that generate diverse expressions in the urban environment, with effects that can reshape the city's image and provide cultural reference points. In the case of Paseo Bandera, the integration of art into the urban space fostered a process of appropriation and identity-building, converting a vehicular street into a pedestrian space. However, continuous use of the space can alter or degrade artistic interventions, leading to urban deterioration. The management of such spaces requires a comprehensive plan for administration and maintenance. Nevertheless, limited resources, technical gaps, and inconsistencies in improvement strategies complicate this process, as urban art installations often require the involvement of specialized professionals. Therefore, documenting and analyzing management models enables proactive decision-making regarding public space, ultimately contributing to improved urban quality of life and strengthening community belonging.

Keywords: urban art, urban management, intervention, identity, Paseo Bandera

Arte urbana e gestão urbana na manutenção do espaço público. A administração do Paseo Bandera em Santiago do Chile

Resumo: A arte urbana transforma a percepção e o uso do espaço público através de intervenções que geram diversas expressões no ambiente urbano, com efeitos que podem modificar a imagem da cidade e oferecer referências culturais. No caso do Paseo Bandera, a incorporação da arte no espaço urbano impulsionou um processo de apropriação e identidade, convertendo uma via rodoviária num espaço pedonal. Contudo, o uso contínuo do espaço pode alterar ou deteriorar as intervenções artísticas, provocando um desgaste urbano. A gestão destes espaços exige um plano adequado de administração e manutenção. No entanto, a falta de recursos, o desconhecimento técnico e a incoerência nos planos de melhoria dificultam este processo, pois as obras de arte urbana exigem intervenção de especialistas. Por isso, documentar e estudar modelos de gestão permite antecipar ações sobre o espaço, contribuindo assim para melhorar a qualidade de vida urbana e fortalecer o sentido de pertença nas comunidades.

Palavras-chave: arte urbana, gestão urbana, intervenção, identidade, Paseo Bandera

Introducción

La incorporación del arte en el espacio público promueve su integración en la vida diaria de las personas y fortalece la participación ciudadana (Almeida, Ayala, Cortez y Tituaña, 2012), independiente de si las expresiones artísticas provienen de la comunidad como si son gestionadas desde entidades públicas, estas tienen la capacidad de transformar espacios comunes —y en ocasiones deteriorados— en lugares de valor estético y cultural (Karimimoshaver, Eris, Aram & Mosavi 2021).

Las intervenciones de Urbanismo Táctico utilizan el arte urbano como uno de sus recursos principales, actuando como soportes temporales que buscan generar un efecto positivo en el espacio público. Estas intervenciones, que operan mediante una disrupción planificada, buscan transformar las formas de habitar (Lydon & García, 2015). En su implementación suelen participar artistas locales o la propia comunidad, en colaboración con las autoridades responsables del espacio intervenido y entidades privadas.

El impacto de estas intervenciones puede ser tan significativo que, en algunos casos, se extienden más allá del periodo planificado o incluso se consolidan como parte del espacio público, al ser reconocidas por la comunidad por su capacidad de mejorar la percepción, el uso y la habitabilidad del lugar.

El espacio urbano, en su esencia, es un ámbito de encuentro (Ayala-García 2021), en el que distintos actores confluyen y se manifiestan mediante diversas expresiones (Li & Liu 2023). Esta convergencia da lugar a una dinámica de uso variable y enriquecedora. Sin embargo, la coexistencia de múltiples expresiones urbanas no siempre resulta armónica; pues pueden generarse superposiciones, tensiones o deterioros que afectan las estructuras existentes, produciendo conflictos espaciales que deben ser resueltos por las autoridades encargadas de la administración del espacio público.

La mantención de estos espacios representa un desafío para las autoridades, quienes a menudo carecen de los conocimientos o recursos necesarios para intervenir adecuadamente. Acciones como preservar la limpieza sin dañar las obras o diseñar soluciones que respondan a su permanencia implican un análisis técnico que permita prolongar su existencia mediante nuevas materialidades o adecuaciones.

El caso del Paseo Bandera, intervención de Urbanismo Táctico en el casco histórico de la ciudad de Santiago de Chile, a través de un arte urbano generó un paseo peatonal temporal por un tiempo de seis meses mientras concluían las obras de la línea 3 del tren subterráneo, sin embargo, ante el impacto positivo en la comunidad, la autoridad decretó su permanencia de forma definitiva.

A partir de este caso, surgen interrogantes clave en torno a la gestión del espacio urbano: ¿Cómo garantizar la mantención de estas intervenciones sin perder su impacto

visual y perceptual?, ¿De qué manera se articulan con otras expresiones de arte visual urbano?, ¿Cómo incorporar nuevas intervenciones que respeten el diseño original y aseguren su continuidad?

El análisis propuesto se enfocará en el estudio del Paseo Bandera, examinando las distintas acciones y transformaciones que ha experimentado el proyecto, así como la forma en que la autoridad ha gestionado su mantención, las adaptaciones del espacio y los ajustes al diseño original. A partir de ello, se presentarán reflexiones sobre los efectos de estas decisiones en la planificación y proyección del espacio público.

Marco Teórico

—Definición y Contexto del Arte Urbano

El arte urbano comprende una variedad de expresiones artísticas que se desarrollan en el espacio público, incluyendo desde grafitis y murales (Li & Liu 2023) hasta performances e instalaciones temporales. Estas obras, generalmente de carácter efímero, se crean con el propósito de entablar un diálogo tanto con el entorno urbano como con las comunidades que lo habitan. Para muchos de sus autores, esta forma de arte representa una manera de democratizar el acceso a la creación artística, sacándola de los museos y galerías para situarla en los espacios compartidos por la ciudadanía.

Esta forma de intervención artística puede actuar como un proceso de “resignificación del espacio público” (García Gayo, E. 2016), donde los artistas reinterpretan y reimaginan los lugares cotidianos, generando nuevos significados y narrativas. Así, no solo se transforma el paisaje visual del entorno urbano, sino también la manera en que las personas perciben, recorren y utilizan dichos espacios.

A diferencia de las expresiones artísticas tradicionales, que suelen ser concebidas para su conservación dentro de instituciones como museos o galerías, el arte urbano enfrenta retos permanentes relacionados con su exposición a las condiciones climáticas, el paso del tiempo y, frecuentemente, al vandalismo. Esta condición efímera representa tanto una debilidad como una fortaleza: por un lado, la temporalidad permite una renovación constante del entorno urbano; por otro, plantea dificultades asociadas a su conservación y cuidado.

Según García Gayo *et al.* (2016), el arte urbano puede contribuir a la creación de una “conciencia colectiva”, en la cual los habitantes de una ciudad se conectan entre sí a través de un lenguaje visual compartido. Sin embargo, el impacto de estas intervenciones varía según el contexto específico y el grado de participación comunitaria involucrado en su producción. Mientras que en ciertas ciudades el arte urbano es promovido activamente por las

autoridades municipales como estrategia para embellecer barrios o atraer visitantes, en otras es percibido como una manifestación de vandalismo o como un acto de resistencia frente al orden establecido.

— *Problemáticas en la Gestión y Mantenimiento del Arte Urbano*

La gestión y manutención del arte urbano presentan desafíos específicos debido a la naturaleza pública y efímera que caracteriza a estas expresiones. Las instituciones responsables del espacio público se ven enfrentadas a dificultades tanto conceptuales como logísticas.

La gestión del arte urbano exige la participación coordinada de distintos actores: gobiernos locales, artistas, instituciones culturales e incluso, en ciertas ocasiones, empresas privadas. Esta pluralidad de agentes puede generar fricciones relacionadas con la propiedad, el control y el financiamiento de las intervenciones.

El mantenimiento del arte urbano, considerando la exposición a factores externos naturales como el viento, la lluvia, la radiación solar o la contaminación ambiental aceleran el deterioro de pinturas y estructuras, por otra parte, están los propios del material o del lugar donde se emplaza. Esto obliga a considerar restauraciones frecuentes a cargo de las autoridades o de los propios artistas. A pesar de ello, en numerosos casos estas intervenciones no son bien conservadas, debido a la escasez de recursos o a la percepción generalizada de que, por su carácter transitorio, el arte urbano no requiere el mismo cuidado que otras expresiones artísticas tradicionales.

Además, este deterioro también puede estar asociado a actos de vandalismo o a procesos de “sobreintervención”, donde nuevas capas de pintura o grafiti cubren las obras originales. Para algunos, este ciclo ininterrumpido de creación y destrucción constituye una característica inherente al arte urbano, mientras que para otros representa una barrera para su conservación prolongada. García Gayo et al. (2016) advierten que uno de los principales retos en la administración del arte urbano es la carencia de una visión común entre los diversos actores involucrados. Mientras algunos lo consideran una oportunidad para mejorar la cohesión social y el paisaje urbano, otros lo interpretan como una práctica disruptiva que debe ser regulada o erradicada. Esta disparidad de enfoques dificulta la implementación de políticas públicas efectivas destinadas a su apoyo y conservación.

— *Gestión del urbanismo táctico*

El urbanismo táctico, entendido como una estrategia de planificación urbana, recurre al arte visual y urbano mediante intervenciones de bajo costo y carácter temporal, con el objetivo de inducir transformaciones en el espacio

y que han sido autorizadas por la entidad que administra el espacio público, además, fomentar la participación ciudadana y mejorar la calidad de vida. Estas acciones, en ciertos casos, logran una aceptación comunitaria que impulsa su consolidación como intervenciones permanentes al responder a problemáticas sociales específicas (Lydon & García 2015).

No obstante, para que estas intervenciones transitorias se conviertan en elementos permanentes del entorno urbano, es necesario que exista una forma de gobernanza urbana que combine la validación comunitaria con el respaldo institucional. Es decir, que la autoridad competente esté dispuesta a modificar la estructura urbana y que los actores privados reconozcan beneficios tangibles en el cambio propuesto.

Asimismo, resulta indispensable que la administración pública a cargo del espacio considere una estrategia de gestión que asegure la continuidad de las condiciones que originaron las mejoras, permitiendo mantener el impacto positivo de estas intervenciones sobre la comunidad y el espacio urbano (García Gayo, E. 2016).

Objetivo y método

Este artículo tiene como propósito analizar los aspectos fundamentales que deben contemplarse en un proyecto de Urbanismo Táctico enfocado en la revitalización urbana, así como las dificultades asociadas a la gestión pública respecto de su administración y mantenimiento, con el fin de garantizar un uso adecuado del espacio intervenido. A través del análisis de un caso específico, se busca comprender los procesos enfrentados por la administración pública, identificando los principales obstáculos y estimando los recursos necesarios para asegurar su sostenibilidad en el tiempo.

La metodología propuesta consiste en realizar una revisión detallada del caso del Paseo Bandera, recolectando información contextual y de los distintos hitos del proyecto, identificando problemáticas y estrategias aplicadas en cada etapa. Posteriormente, se reflexiona sobre los elementos críticos del proceso y se discuten alternativas para su implementación y gestión por parte del sector público, con el objetivo de mejorar la toma de decisiones en proyectos similares.

Caso de estudio: Paseo Bandera

El Paseo Bandera constituye un ejemplo complejo y articulado de intervención en el espacio público, cuyo desarrollo implicó la cooperación entre entidades municipales, ministeriales y actores privados. Entre los organismos involucrados destacan la Secretaría Comunal de Planificación (SECPLA), el Ministerio de Transportes y la Municipalidad de Santiago. La intervención se realizó

en una sección de la calle Bandera, reconvirtiendo temporalmente una vía vehicular en paseo peatonal con fines culturales, recreativos y urbanos.

La planificación del proyecto fue liderada por la SECPLA con aprobación municipal, coordinándose con el Departamento de Espacio Público y el Comité de Permisos en conformidad con la Ordenanza N°94. A nivel nacional, el Ministerio de Transportes autorizó la peatonalización del tramo mediante la Resolución Exenta 7397, que rigió desde noviembre de 2017 hasta agosto de 2018.

La propuesta técnica y artística estuvo a cargo del artista Dasic Fernández y el arquitecto Juan Carlos López, quienes, mediante el Estudio Victoria, desarrollaron una intervención que articuló arte, sustentabilidad y patrimonio.

En términos de financiamiento, los recursos fueron gestionados por el Estudio Victoria. En este caso la empresa Calsberg y el Banco Santander aportaron fondos, mientras que la empresa Ceresita colaboró con pinturas. También se sumaron aportes menores de los locatarios para adquirir implementos adicionales.

El caso del Paseo Bandera en el casco histórico de la ciudad de Santiago inició como un proyecto el 2017 y logró generar un aumento en 325% de peatones en la semana y hasta 278% los fines de semana. (Ministerio de Transporte 2018). Las ventas en el sector se recuperaron y aumentaron un 20%. Mediante un trabajo con equipos y personal de seguridad se redujo la presencia de vendedores ambulantes.

Ante los buenos resultados la municipalidad realizó una investigación donde el 96% de personas encuestadas valoraron el nuevo espacio con una calificación de 6.0 (escala de 1 a 7) (CIDEU 2018) demostrando que no solo tuvo buenos resultados, sino que la comunidad lo identificó como algo significativo para el habitar en la ciudad.

El proyecto fue ampliamente reconocido como un hito dentro del paisaje urbano, no solo por los beneficios observados, sino también por los premios y reconocimientos internacionales obtenidos.

“En Victoria tenemos como objetivo unir el arte y la arquitectura para potenciar la experiencia de los ciudadanos con los espacios públicos. Queremos transformar a Bandera en un hito urbano que devuelva esta calle a las personas y ciclistas transformándose en un punto de encuentro ciudadano, de recreación, contemplación y descanso al aire libre único en la ciudad”, Dasic Fernández. Diario Sustentable (2017)

Estos beneficios permitieron el 2018 a la Municipalidad como entidad que administra este territorio (comuna) contar con argumentos para que a través de su secretaría de planificación solicitar al Ministerio de Transporte,

entidad encargada de la funcionalidad de las vías públicas mantener de forma permanente la intervención, considerando que gran parte del transporte de vehículos públicos transitaría por esta vía del centro histórico de la Ciudad. Una gestión más bien política logró que tras algunos análisis técnicos se materializara la propuesta de mantener la vía como paseo peatonal.

“es emocionante ver que esto que partió como un sueño, un experimento y una obra transitoria, hoy es reconocido como un Paseo permanente. Esta noticia es sin duda un gran regalo para la ciudad.” (Ministerio de transporte, 2018)

— Arte Urbano del Paseo Bandera Gestión – aplicación

El diseño inicial incluyó 3.300 m² de pintura sobre el pavimento, empleando materiales resistentes al tránsito peatonal durante un periodo de seis meses. Además, se incorporó mobiliario, vegetación y elementos colgantes que mejoraban la percepción ambiental del espacio, considerando su durabilidad ante el uso cotidiano del lugar.

La intervención tuvo fuerte repercusión comunitaria, mediática y turística, impulsando transformaciones estructurales [Figura 1]. y que las diferentes instituciones lograsen llegar a acuerdos habla de una Gobernanza Urbana que fue producto de la intervención del proyecto.

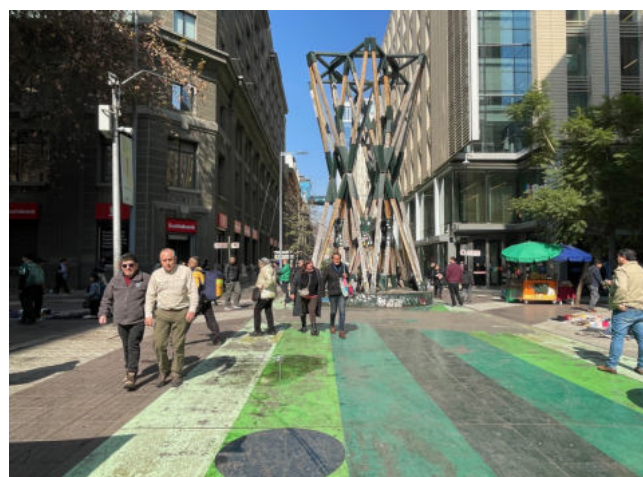


Figura 1.- Estructura hito Paseo Bandera, Fotografía del autor, 19 agosto 2025

La consolidación del Paseo Bandera como intervención permanente posibilitó su expansión en diciembre de 2018, sumando aproximadamente 7.000 m² adicionales de superficie artística urbana, alcanzando un total de 10.000 m² de intervención. Esta extensión integró un paso bajo nivel que permitió incorporar tres tipos de soportes para el arte urbano: piso intervenido con pintura, muros decorados mediante grafitis y pintura, y cielo cubierto

con obras visuales (Ministerio de Transporte, 2018). Esta nueva fase del proyecto permitió la recuperación de un espacio previamente en desuso, habilitándolo para la realización de ferias y eventos mediante la instalación de infraestructuras transitorias adaptadas a estas actividades.

Paralelamente, y como parte del proceso de consolidación del Paseo Bandera, se efectuó en la misma fecha una restauración de la pintura del pavimento peatonal, intervención que se extendió por cerca de un mes. No obstante, los elementos de mobiliario urbano, originalmente no concebidos para una duración prolongada, no fueron objeto de mejoras. A su vez, los dispositivos suspendidos utilizados como soportes visuales perdieron estabilidad con el tiempo, siendo desmontados sin ser reemplazados.

En el contexto de los acontecimientos de octubre de 2019, cuando diversos espacios públicos del centro de Santiago fueron blanco de acciones vandálicas en el marco del “estallido social”, el Paseo Bandera experimentó un nivel de afectación relativamente bajo. Esta situación podría atribuirse al valor simbólico y estético que la intervención logró proyectar en la ciudadanía (Pallarés *et al.* 2020).

Posteriormente, en julio de 2020, como respuesta a la degradación urbana sufrida en el centro de la ciudad y en medio del contexto pandémico, se llevó a cabo una nueva restauración de las pinturas del pavimento, coordinada por el municipio [Figura 2]. Esta acción se enmarcó en los preparativos para el retorno paulatino a la movilidad urbana (Alessandri, F. 2020).

Durante el mismo periodo pandémico, el deterioro del Paseo Bandera se vio acentuado por su uso inadecuado como estacionamiento para vehículos particulares, situación que generó cerca de 2.500 denuncias de tránsito (Diario El Mostrador 2020).



Figura 2.- Estructura hito Paseo Bandera, Fotografía del autor, 19 agosto 2025

En diciembre de 2020 se ejecutaron nuevas obras de mantención incluyendo repintado del piso y del mobiliario urbano en el tramo comprendido entre la calle Moneda y el Paseo Huérfanos. Además, en el paso bajo nivel que conecta San Diego con calle Bandera, se reemplazó el asfalto deteriorado debido a la falta de adherencia y se aplicó pintura en el suelo, muros y cielo del túnel. A la salida de este se incorporó un nuevo diseño de pavimento, complementado por la incorporación de cuatro murales del artista Dasic Fernández. Estas obras buscaron transmitir un mensaje de renovación y sanación frente a las complejidades sociales y sanitarias vividas recientemente (CORDESAN 2021).

“hoy le damos este regalo a los vecinos de Santiago, usuarios del centro y a toda la ciudad en general. El Paseo Bandera ha sido alabado incluso por expertos en el extranjero y sirvió como inspiración para muchas otras intervenciones en otros puntos del país. Por lo mismo nuestro llamado es a cuidarlo y no dañarlo, recordando que este es un paseo peatonal que brinda espacios de circulación seguros para las personas”. Palabras del alcalde Alessandri. Radio Ucentral (2020)



Figura 3.- Estructura hito Paseo Bandera, Fotografía del autor, 19 agosto 2025

En julio 2022 el Paseo Bandera, en el tramo correspondiente al paso bajo nivel, se encuentra en un nivel de deterioro y destrucción producto de rayados en sus muros principalmente. Además, la falta de usos en el espacio significó que fue utilizado incluso para realizar peleas callejeras de boxeo. (T13 2022)

Noviembre 2022 el Paseo Bandera en su paso bajo nivel continua la condición de deterioro al ir aumentando la cantidad de grafitis [Figura 4], carteles pegados, incluso rayados en el piso. A pesar de la limpieza permanente este espacio es mal utilizado por algunas personas generando inseguridad y malos olores. (Muchogusto 2022).

Mayo 2023 Los murales han desaparecido bajo carteles, grafitis en muros del paso bajo nivel, las pinturas se



Figura 4.- Estado murales, Fotografía del autor, 07 septiembre 2023

han deteriorado [Figuras 3 y 4] y no se han realizado mantenciones o mejoras al Paseo en general. Solo se mantiene la limpieza con agua a presión para eliminar la suciedad. (Chilevisión 2023).

Septiembre 2023 El Gobierno regional hace un llamado al primer concurso de muralismo para revitalizar y transformar en los muros del paso bajo nivel con motivo de los panamericanos que se realizarán en la Ciudad [Figura 5] y se inaugura el 20 de octubre. (Gobierno Regional 2023)



Figura 5.- Nuevo mural juegos panamericanos, Fotografía del autor, 07 noviembre 2023

Mayo 2024 El gobierno regional anuncia que se destinarán \$473 millones de pesos chilenos para el diseño [Figura 6] de recuperación del Paseo Bandera (Orrego 2024)

Situación actual

Julio de 2024 adjudicación de contrato de diseño integral. El proyecto ingresó a revisión del Consejo de Monumentos Nacionales por estar emplazado en una Zona Típica (CMN, 2024).

Abril 2025 emergen discrepancias en torno al futuro del eje tras hechos de violencia ocurridos en el paso bajo nivel. Municipalidad de Santiago y el Ministerio de Transportes propusieron reabrir la calle al transporte público, argumentando razones de seguridad y conectividad (Emol 2025). Esta postura fue rechazada por el Gobierno Regional Metropolitano, que defendió el proyecto de peatonalización señalando que una reapertura obligaría a recalibrar proyecto y a redefinir las acciones económicas previstas.

El debate hoy sobre el Paseo Bandera abre la discusión sobre la gestión del espacio público y no centrado en la materialidad de la obra sino más bien que de la capacidad de articular objetivos de movilidad, seguridad, patrimonio y sostenibilidad económica en una gobernanza urbana.

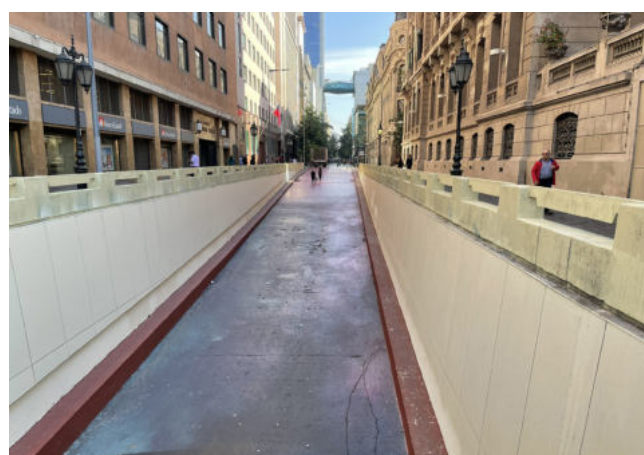


Figura 6.- Paso bajo nivel sin murales, Fotografía del autor, marzo 2024

Gestión en la administración, limpieza e incorporación de nuevos elementos

El paso del tiempo, la necesidad de limpieza y la permanencia del arte urbano impone una gestión urbana que debe realizar la autoridad encargada de la administración del lugar. Lo complejo es lo que significa trabajar con un arte es que requiere de una asistencia diferente al tratamiento de limpieza que habitualmente se realiza a una fachada (Municipalidad de Santiago 2023) ya que el arte se deteriora o se ve afectado con algunos métodos o productos de limpieza.

En el caso del Paseo Bandera, las labores de aseo se llevan a cabo mediante el mismo procedimiento empleado en el resto de la comuna: limpieza con agua pulverizada a presión [Figura 7]. Esta técnica, si bien eficiente para eliminar suciedad, con el tiempo provoca desprendimientos y pérdida de color en las superficies intervenidas. A esto se suma la problemática en los bienes muebles construidos en madera, donde la humedad generada por el proceso acelera la pudrición del material, debilitando sus soportes. Asimismo, las estructuras metálicas ocultas sufren procesos de oxidación, disminución del volumen del material y, en consecuencia, una pérdida de estabilidad estructural.

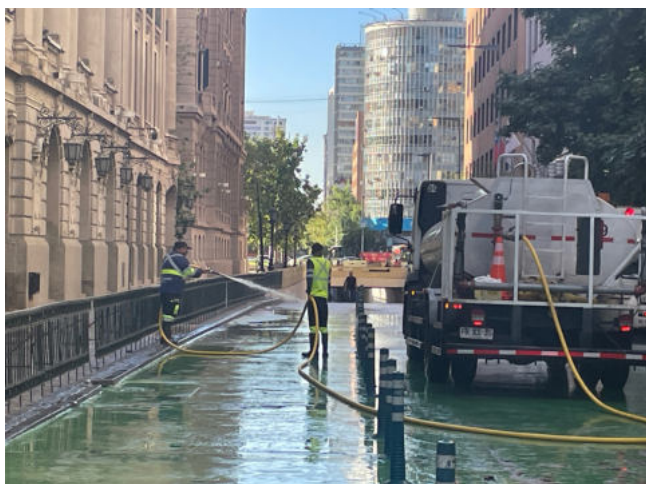


Figura 7.- Limpieza de calles, Fotografía del autor, enero 2025

En la zona correspondiente a calle Moneda, el mobiliario urbano original, compuesto por asientos de madera en mal estado, fue reemplazado por nuevos elementos contruidos en hormigón, un material más resistente. Sin embargo, esta intervención implicó también una modificación respecto al diseño original, tanto en la forma, como en el tamaño y el color de los elementos [Figura 8]. En contraste, en el sector de Paseo Huérfanos se optó por la reparación y posterior reconstrucción del mobiliario urbano siguiendo fielmente la propuesta inicial, manteniendo tanto las formas como los colores originales.

El mantenimiento del color en el pavimento ha representado un desafío mayor, debido a que el constante flujo peatonal dificulta la ejecución de trabajos de repintado, ya que estos requerirían el cierre temporal de la vía. Por su parte, los murales presentes en el paso bajo nivel enfrentan un doble deterioro: por un lado, los daños provocados por los métodos de limpieza, y por otro, la constante superposición de grafitis o rayados no autorizados. Las soluciones adoptadas frente a este tipo de daño han sido más radicales, optando por la creación de nuevos murales o bien cubriendo las superficies afectadas con pintura neutra.

Discusión

La conservación del arte urbano dentro del espacio público plantea una serie de desafíos técnicos, administrativos y simbólicos que van más allá de su simple manutención. Estos desafíos no solo consideran el mantenimiento físico de las obras, sino también la reflexión sobre su permanencia o carácter efímero, el valor que adquieren con el tiempo y el impacto que generan en la comunidad y en el entorno urbano. En consecuencia, se vuelve imprescindible desarrollar modelos de gestión que incorporen criterios claros para evaluar procedimientos de limpieza, conservación y restauración, permitiendo así dimensionar los recursos humanos y materiales necesarios para la sostenibilidad de estas intervenciones artísticas.



Figura 8.- Antes y después, Fotografía del autor, mayo 2023 – septiembre 2023

— *Métodos de limpieza*

La implementación de estrategias adecuadas parte por reconocer el tipo de intervención artística, los agentes de deterioro presentes y las características del soporte urbano. García Gayo (2016) subraya que los métodos de limpieza deben eliminar contaminantes sin afectar la capa pictórica ni la estructura de soporte, considerando que muchos de los materiales utilizados en el arte urbano —como aerosoles y pinturas industriales— son especialmente sensibles a tratamientos agresivos. Por esta razón, los procedimientos deben ser específicos, cuidadosos y adaptables a cada caso. En esta línea, Santabárbara Morera (2016) propone la aplicación de sellantes o protectores durante la intervención original, como una estrategia preventiva que prolonga la durabilidad de las obras y facilita procesos posteriores de limpieza sin comprometer su integridad.

— *Conservación preventiva*

Para resguardar el arte urbano en el tiempo, se han desarrollado diversas estrategias de conservación preventiva. Una de las más recurrentes es la aplicación de barnices o recubrimientos invisibles anti-UV, que protegen las superficies del desgaste provocado por la radiación solar, la lluvia, el polvo y la contaminación atmosférica. Bosselmann (2008) advierte que la exposición continua a estos factores acelera la degradación, especialmente en entornos urbanos densos donde los niveles de polución son elevados. Por otro lado, Mata Delgado (2016) plantea el uso de estructuras físicas temporales —como coberturas, andamios o cercos— para proteger las obras en caso de eventos climáticos extremos o durante trabajos de construcción cercanos. Estas medidas, sin alterar la obra, permiten preservar su estado sin recurrir a intervenciones directas.

Otro elemento clave en la conservación preventiva es la documentación sistemática. Según García Gayo (2016), la creación de registros digitales y fotográficos detallados de cada intervención facilita futuras restauraciones y permite seguir la evolución del deterioro o alteración de las obras en el tiempo. Este tipo de información es esencial para una gestión cultural informada, ya que ofrece una base técnica y simbólica para tomar decisiones futuras sobre la intervención o preservación del arte urbano.

— *Manutención*

Cuando las obras han sufrido daños significativos, la manutención es una opción necesaria, pero debe llevarse a cabo con extremo cuidado para no alterar la esencia de la obra. Santabárbara Morera (2016) señala que se debe seguir el principio de mínima intervención, utilizando técnicas que permitan la reversibilidad de la manutención. Esto asegura que futuras intervenciones no quedarán comprometidas por las decisiones realizadas.

— *Gestión Urbana*

La gestión del espacio público enfrenta desafíos estructurales cuando diversas instituciones convergen en un mismo territorio con competencias, escalas de acción y prioridades divergentes. En el caso del Paseo Bandera, donde confluyen el Gobierno Regional Metropolitano, la Municipalidad, el Ministerio de Transportes y el Consejo de Monumentos Nacionales evidencia la tensión entre visiones sectoriales que, al no articularse en una gobernanza coherente, tienden a paralizar o retrasar las decisiones estratégicas. Esta situación presente en ciudades latinoamericanas, como un obstáculo para la implementación de proyectos urbanos, plantean la necesidad de mecanismos de gobernanza multinivel capaces de articular escalas locales y metropolitanas, favoreciendo la sostenibilidad de las intervenciones. (Elinbaum *et al.* 2024).

6. Debate: ¿Conservar, modificar o eliminar el arte urbano?

Más allá de los aspectos técnicos, la conservación del arte urbano abre un debate relevante en torno a su sentido, su temporalidad y su lugar en la ciudad. Muchas de estas intervenciones fueron concebidas como propuestas efímeras, ligadas a un contexto o mensaje específico. En este sentido, su preservación indefinida puede desvirtuar su intencionalidad original. Mata Delgado (2016) sostiene que mantenerlas de forma permanente podría diluir su contenido simbólico y afectar su inserción en el tejido urbano contemporáneo.

Sin embargo, cuando estas obras logran consolidar un valor cultural significativo, su preservación adquiere un sentido cívico. Karimimoshaver, Eris, Aram y Mosavi (2021) argumentan que el arte urbano, al insertarse de forma positiva en la memoria colectiva y en la identidad de un territorio, trasciende su carácter temporal. En estos casos, su conservación no solo se justifica desde lo estético o artístico, sino también como un acto de responsabilidad patrimonial frente a la ciudadanía. García Gayo (2016) respalda esta idea al señalar que estas obras contribuyen activamente al relato urbano de una comunidad.

Bosselmann (2008), por su parte, propone un enfoque selectivo: las ciudades deben desarrollar criterios explícitos que permitan identificar qué intervenciones deben ser preservadas, modificadas o eventualmente eliminadas. Esta mirada considera que no todas las obras urbanas merecen un tratamiento igualitario y que solo aquellas con un valor cultural o histórico sobresaliente deben ser integradas de forma permanente al paisaje urbano. Las demás pueden seguir el curso natural de cualquier intervención efímera: emerger, integrarse, desgastarse y, finalmente, desaparecer [Figura 9].

La gestión pública del arte urbano requiere no solo comprender los procesos de creación, uso y apropiación del espacio, sino también desarrollar mecanismos de manutención eficientes que aseguren la sostenibilidad de estas intervenciones. Este desafío no es menor: la falta de conocimiento técnico por parte de las instituciones o



Figura 9.- Deterioro mobiliario Fotografía del autor, marzo 2024

la presión por reducir costos operacionales muchas veces condiciona la permanencia del arte en el espacio público. En este contexto, es fundamental reconocer el valor simbólico, cultural y funcional de cada obra y definir con claridad los beneficios que representa tanto para los habitantes locales como para quienes visitan la ciudad. Esta evaluación debe permitir tomar decisiones fundadas sobre su permanencia, modificación o eventual retiro.

Conclusión

El arte urbano posee un impacto multifacético en la ciudad: reconfigura el paisaje, activa dinámicas sociales, revitaliza áreas degradadas y propone nuevas narrativas colectivas. Sin embargo, estas potencialidades están acompañadas de una serie de desafíos complejos para las instituciones responsables de su gestión. Entre ellos, destacan la tensión entre lo efímero y lo permanente, el marco normativo que regula su existencia, su rol como activador turístico y comercial, y la necesidad de establecer criterios claros de intervención y conservación. El arte urbano, por su carácter dinámico y muchas veces espontáneo, requiere de políticas públicas flexibles, inclusivas y transversales, que consideren la voz de artistas, residentes, gestores culturales y actores del espacio público.

En este sentido, la transformación de una intervención temporal en una estructura permanente implica revisar los principios, materiales y objetivos que guiaron su diseño original. Es necesario evaluar su vigencia en el nuevo contexto y redefinir aspectos como la durabilidad de los elementos, la adaptabilidad a nuevos usos o el impacto que genera en las comunidades. Si este proceso no es gestionado adecuadamente, pueden reaparecer problemas urbanos que se buscaba mitigar inicialmente, como el deterioro físico, la inseguridad o la pérdida de apropiación ciudadana, generando un efecto regresivo frente al éxito inicial de la intervención.

El caso del Paseo Bandera en Santiago ilustra con claridad esta situación. Su implementación como proyecto de urbanismo táctico tuvo un impacto inmediato en la

revitalización del centro urbano, promoviendo nuevas formas de habitar y recorrer el espacio público. La intervención ganó reconocimiento local e internacional, se consolidó como un atractivo turístico, y logró ser mantenida de forma permanente. Sin embargo, el gran desafío surgió en su etapa de manutención: al haber sido concebido como un proyecto temporal, muchos de sus elementos no estaban diseñados para perdurar. Con el tiempo, mobiliarios se deterioraron, algunos desaparecieron y otros fueron modificados sin un criterio de coherencia con el diseño original. A pesar de continuar siendo un punto de interés, el Paseo Bandera ha perdido parte del espíritu identitario que lo definió en sus inicios [Figura 10]. No obstante, este caso aún ofrece una oportunidad: establecer un modelo de gestión adecuado podría permitir su recuperación y resignificación como intervención urbana duradera.

Además, es necesario definir formas y modelos de intervención que aborden el desafío de la permanencia y junto con ello establecer los recursos que permiten su manutención en el tiempo para que el arte urbano siga impactando y mejorando el espacio urbano, pero también considerando que el espacio urbano debe contemplar la convivencia compleja entre el tiempo de estas intervenciones con otras expresiones como el arte callejero y que se pueden producir afectaciones positivas y/o negativas cuando un espacio público se vincula o adolece a una gestión estratégica.

La presencia o ausencia de una gestión estratégica puede potenciar o debilitar estas dinámicas. Por lo tanto, conservar el arte urbano requiere una planificación consciente, participativa y adaptable a los múltiples tiempos y significados del espacio urbano contemporáneo.

La articulación entre arte urbano y urbanismo táctico demuestra que las transformaciones urbanas exitosas no dependen exclusivamente de grandes infraestructuras, sino de intervenciones sensibles, contextualizadas y participativas. No obstante, para que estas experiencias se consoliden, es indispensable que las instituciones públicas



Figura 10.- Nuevos murales paso bajo nivel 2024, Fotografía del autor, marzo 2024

comprendan el potencial del arte como herramienta de política urbana, desarrollando marcos normativos flexibles y modelos de manutención integrados. La falta de una estrategia de gestión puede no solo comprometer la durabilidad material de las obras, sino también erosionar el vínculo afectivo y simbólico que estas generan en la comunidad.

Por otra parte, el espacio público, como escenario de múltiples apropiaciones, debe ser gestionado considerando su complejidad y diversidad temporal. Las intervenciones permanentes deben convivir con expresiones espontáneas como el arte callejero, sin imponer una homogeneidad que desvirtúe la naturaleza viva y cambiante de la ciudad.

Así, el Paseo Bandera invita a pensar más allá de su estética llamativa o su éxito turístico. Nos interpela sobre cómo diseñar, implementar y sostener intervenciones urbanas con sentido, que integren el arte como política pública y la gestión como herramienta para garantizar continuidad

Referencias

ALEASSANDRI F. (2020). "Recuperación de Paseo Banderas presentación" <https://www.facebook.com/alessandrifelip/videos/recuperaci%C3%B3n-de-paseo-banderas/398565597774744/>. [consulta: 11/10/2024].

ALMEIDA, P. et al. (2012). Arte y comunidad. Espacios de transformación. *ARQ*, 81: 62-66.

AYALA-GARCIA, ERIKA TATIANA (2021). La arquitectura, el espacio público y el derecho a la ciudad. Entre lo físico y lo vivencial. *Rev. Arquit.* (Bogotá) [online] 23 (2):36-46. <https://doi.org/10.14718/revarq.2021.3286>.

BOSELTMANN, PETER (2008). "Urban transformation. Understanding city design and form". Washington: Island Press.

CHILEVISIÓN (2023). "Paseo Bandera deteriorado: Colores desteñidos y obras que desaparecieron por los rayados". <https://www.youtube.com/watch?v=Nmh0dYvsrTU>. [consulta: 09/09/2024]

CHINEDU, ELIOT (2024). The Influence of Public Art on Urban Revitalization. *International Journal of Arts, Recreation and Sports*. 3. 1-13.

CIDEU (2018). Congreso Centro Iberoamericano de Desarrollo Estratégico Urbano <http://eventos.cideu.org/documentos/presentaciones2018/Santiago-congreso2018.pdf>. [consulta: 24/09/2024]

CONSEJO DE MONUMENTOS NACIONALES. (2024). Solicitud de autorización para mejoramiento de espacio público Paseo Bandera, Santiago (Sesión de noviembre 2024). *Actas del Consejo de Monumentos Nacionales*. https://www.monumentos.gob.cl/sites/default/files/20241204_acta_sesion_ord_env.pdf

CORDESAN (2021). "Cordesán participa en obras de renovación y mantención de Paseo Bandera." <https://cordesansantiago.cl/cordesán-participa-en-obras-de-renovación-y-mantención-de-paseo-bandera/>. [consulta: 19/08/2024]

DIARIO EL MOSTRADOR (2020). "Nuevos murales, rediseño y repintado en renovado Paseo Bandera." <https://www.elmostrador.cl/agenda-pais/2020/12/30/nuevos-murales-rediseño-y-repintado-en-renovado-paseo-bandera/> [consulta: 02/10/2024]

DIARIO SUSTENTABLE (2017). "Calle Bandera sorprende con innovador y único paseo con inspiración sustentable." <https://www.diariosustentable.com/2017/12/calle-bandera-sorprende-con-innovador-y-único-paseo-con-inspiración-sustentable/>. [consulta: 03/09/2024]

EMOL (2025) "Balacera en Paseo Bandera abre debate sobre su uso: Municipio busca transformarlo en eje de transporte público." <https://www.emol.com/noticias/Nacional/2025/04/22/1164231/paseo-bandera-seguridad-mario-desbordes.html> [consulta: 03/08/2025]

ELINBAUM, P., VICUÑA DEL RÍO, M., & VALENZUELA MONTES, L. M. (2024). Planning the metropolitan region in the era of governance: three Latin American cases. *Urban Research & Practice*, 1–24. <https://doi.org/10.1080/17535069.2024.2346744>

García Gayo, E. (2016). Etapas del Arte Urbano. Aportaciones para un Protocolo de conservación. *Ge-Conservación*, 10, 97-108. <https://doi.org/10.37558/gec.v10i0.401>

GARCÍA GAYO, E., et al (2016). Anexo I: Propuesta de código deontológico para la conservación y restauración de arte urbano. *Ge-Conservación*, 10:186-192. <https://doi.org/10.37558/gec.v10i0.419>

GOBIERNO REGIONAL (2023). "Base concurso de mural sueña la ciudad, vive Santiago." <https://corporacionrm.cl/wp-content/uploads/2023/09/Bases-concurso-Suena-la-ciudad-Vive-Santiago.pdf> [consulta: 24/09/2024]

KARIMIMOSHAVER, M.; ERIS,B.; ARAM, F.; MOSAVI, A. (2021) Art in Urban Spaces. *Sustainability*, 13 (10): 5597. <https://doi.org/10.3390/su13105597>

LYDON, M., & GARCIA, M. (2015). "Tactical Urbanism: Short-term Action for Long-term Change".

LI, W. Y LIU, P. (2023). Evocando la nostalgia: el grafiti como medio en el espacio urbano. *Sage Open*, 13 (4). <https://doi.org/10.1177/21582440231216600>

MATA DELGADO, A. L. (2016). Entre la teoría de la restauración y el arte urbano, una paradoja disciplinar. *Ge-Conservación*, 10: 126-134. <https://doi.org/10.37558/gec.v10i0.406>

MINISTERIO DE TRANSPORTE (2018). "Calle Bandera seguirá como paseo peatonal y podría extenderse a San Diego con un centro cultural". <https://msgg.gob.cl/wp/2018/09/02/calle-bandera-seguira-como-paseo-peatonal-y-podria-extenderse-a-san-diego-con-un-centro-cultural/> [consulta: 25/08/2024]

MINISTERIO DE TRANSPORTE (2018) "Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones y Municipalidad de Santiago definieron que calle Bandera será un paseo peatonal permanente". <https://www.mtt.gob.cl/archivos/19380#:~:text=agosto%20de%202018-,Ministerio%20de%20Transportes%20y%20Telecomunicaciones%20y%20Municipalidad%20de%20Santiago%20definieron,barrio%20c%C3%ADvico%20de%20la%20capital.> [consulta: 20/08/2024]

MINISTERIO DE TRANSPORTE (2018). "Paseo Bandera inaugura segunda etapa y tendrá una feria navideña". <https://www.mtt.gob.cl/archivos/20131> [consulta: 24/09/2024]

MUCHOGUSTO (2022). "Recuperación de Paseo Bandera" <https://www.facebook.com/muchogustomatinal/videos/recuperaci%C3%B3n-de-paseo-bandera/1174824866744133/> [consulta: 10/09/2024]

MUNICIPALIDAD DE SANTIAGO (2023), "Municipalidad de Santiago modifica ordenanza para agilizar la mejora de fachadas abandonadas o dañadas." <https://www.munistgo.cl/municipalidad-de-santiago-modifica-ordenanza-para-facilitar-la-mejora-de-fachadas-abandonadas-o-danadas/> [consulta: 19/08/2024]

MUNICIPALIDAD DE SANTIAGO (2024). "¿Escucha los sonidos de la limpieza de calles en Santiago?" <https://www.facebook.com/munistgo/videos/stgoenterreno-escucha-los-sonidos-de-la-limpieza-de-calles-en-santiago-con%C3%A9ctate/1593922624791389/> [consulta: 10/10/2024]

ORREGO (2024) "Una ciudad más limpia y más linda". <https://x.com/Orrego/status/1795916762321469671> [consulta: 02/10/2024]

PALLARÉS T., M., PALLARÉS T., M.E., LOU, J. CH. (2020). Arte Urbano: Aporte a la construcción de espacio público. *Tsantsa. Revista de Investigaciones artísticas*, 9: 275-287. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/tsantsa/article/view/3421>

RADIO COOPERATIVA (2018). "El Paseo Bandera sumó sección subterránea y quedó aún más lindo". <https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/ciudades/santiago/el-paseo-bandera-sumo-seccion-subterranea-y-quedo-aun-mas-lindo/2018-12-20/171420.html> [consulta: 02/10/2024]

RADIO UCENTRAL (2020). "Santiago recibe el 2021 con un renovado Paseo Bandera". <https://radio.ucentral.cl/noticias/santiago-recibe-el-2021-con-un-renovado-paseo-bandera/> [consulta: 12/10/2024]

SANTABÁRBARA MORERA, C. (2016). La conservación del arte urbano. Dilemas éticos y profesionales. *Ge-Conservación*, 10: 160-168. <https://doi.org/10.37558/gec.v10i0.409>

T13 (2022). "Preocupación "club de la pelea" escolar en pleno Paseo Bandera". <https://www.youtube.com/watch?v=QfxOWHXAUE> [consulta: 12/10/2024]

Autor/es**Hernán A. Elgueta Strange**helgueta@uchile.clFacultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad de Chile<https://orcid.org/0000-0002-4119-7423>

Arquitecto y académico de la Facultad de arquitectura y urbanismo de la Universidad de Chile, máster en dirección de empresas constructoras e inmobiliarias de la Universidad Politécnica de Madrid. Línea de desarrollo e investigación: gestión de la producción arquitectónica con enfoque en el espacio público y materialización de la edificación.

Artículo enviado 21/01/2025
Artículo aceptado el 23/08/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1369>



Diagnóstico ilustrado de la patología del travertino del Centro Histórico de Cuenca (Ecuador)

Catalina Beatriz Chimborazo Espinoza, Jenny Fabiola Peralta Viñansaca, María del Cisne Aguirre Ullauri

Resumen: El estudio patológico de materiales pétreos en contextos patrimoniales es clave para la conservación. Este trabajo se centra en el diagnóstico técnico del travertino en diez fachadas del Centro Histórico de Cuenca (Ecuador), aplicando la metodología Art Risk, los criterios de ICOMOS (2004) y las normas UNE. El análisis describe el cuadro patológico usando cinco: grietas y deformaciones (90 % de casos), desprendimientos (50 % de casos), pérdida de material (90 % de casos), alteración cromática y depósitos (100 % de casos) y colonización biológica (40 % de casos). Se incluyen las intervenciones antrópicas (40% de casos) y sintetiza que, las lesiones más frecuentes son: alteración cromática (hasta 6,66 %), alveolización (1,25 %), erosión (1,94 %), grafitis (1,44 %) y pátina (1,15 %). Los hallazgos evidencian la correlación directa entre la exposición a agentes degradantes (humedad, baja exposición solar, contaminación, tráfico e intervenciones inadecuadas) y la intensidad de las afectaciones, en función de lo cual se proponen estrategias de conservación basadas en criterios de intervención mínima, compatibilidad de materiales y reversibilidad.

Palabras clave: Travertino, lesiones patológicas, diagnóstico, conservación, patología, centro histórico

Illustrated Diagnosis of Travertine in the Historic Center of Cuenca (Ecuador)

Abstract: Pathological analysis of stone materials in heritage contexts is essential for conservation. This study focuses on the technical diagnosis of travertine on ten façades in the Historic Center of Cuenca, Ecuador, applying the Art Risk methodology, ICOMOS criteria (2004), and UNE standards. The analysis describes pathological manifestations using five categories: cracks and deformations (90 % of cases), detachments (50%), material loss (90 %), chromatic alteration and deposits (100 %), and biological colonization (40%). Anthropogenic interventions are included (40 % of cases), and the most frequent lesions are synthesized as follows: chromatic alteration (up to 6.66%), alveolar weathering (1.25 %), erosion (1.94 %), graffiti (1.44 %), and patina (1.1 %). The findings demonstrate a direct correlation between exposure to degrading agents moisture, low solar exposure, pollution, traffic, and inadequate interventions and the severity of damage. Consequently, conservation strategies are proposed based on the principles of minimum intervention, material compatibility, and reversibility.

Keywords: Tavertine, pathologic lesions, diagnosis, conservation, pathology, historic center

Diagnóstico ilustrado da patologia do travertino do Centro Histórico de Cuenca (Equador)

Resumo: O estudo patológico de materiais pétreos em contextos patrimoniais é fundamental para a conservação. Este trabalho foca-se no diagnóstico técnico do travertino em dez fachadas do Centro Histórico de Cuenca (Equador), aplicando a metodologia Art Risk, os critérios do ICOMOS (2004) e as normas UNE. A análise descreve o quadro patológico usando cinco categorias: fissuras e deformações (90% dos casos), destacamentos (50% dos casos), perda de material (90% dos casos), alteração cromática e depósitos (100% dos casos) e colonização biológica (40% dos casos). Incluem-se as intervenções antrópicas (40% dos casos) e sintetiza que as patologias mais frequentes são: alteração cromática (até 6,66%), alveolização (1,25%), erosão (1,94%), grafitis (1,44%) e pátina (1,15%). Os resultados evidenciam a correlação direta entre a exposição a agentes degradantes (humidade, baixa exposição solar, poluição, trânsito e intervenções inadequadas) e a intensidade das afetações. Com base nisso, propõem-se estratégias de conservação baseadas em critérios de intervenção mínima, compatibilidade dos materiais e reversibilidade.

Palavras-chave: Travertino, diagnóstico, conservação, patologia, centro histórico

Introducción

El travertino ha sido un material esencial en la arquitectura a lo largo de la historia, destacando por su durabilidad y calidad estética, estas características lo han convertido en una opción popular en diversas sociedades históricas, por lo que es posible identificar su uso en diversos monumentos y edificaciones de contextos europeos, americanos y asiáticos (Fernández & Castellá 2023). En la arquitectura, el travertino cumple funciones estructurales y decorativas. Su uso representa prácticas culturales y tradiciones locales, incorporándolo al patrimonio y al aprovechamiento de recursos minerales lo cual evidencia la relación entre procesos geológicos y acción humana. Por ello, resulta necesaria la adopción de enfoques sistemáticos para conservar tanto el travertino como otros materiales pétreos.

A nivel mundial, el travertino se encuentra en diversas regiones, y su estudio continuo ha permitido una mejor comprensión de su formación, características y aplicaciones. Según investigaciones publicadas por Pentecost (2005) en la revista *Sedimentary Geology*, el travertino se encuentra ampliamente distribuido, con importantes depósitos en varios continentes. Por ello, su uso se observa en revestimientos, elementos decorativos y pavimentos, tanto en exteriores e interiores demostrando su valor arquitectónico (García del Cura *et al.* 2012). En Italia, el travertino local es altamente valorado en la escultura y arquitectura debido a sus propiedades estéticas y mecánicas, convirtiéndolo en un material destacado desde la época etrusca hasta la actualidad. Destacan edificios icónicos como las murallas de Saturnia y Volterra, la Catedral de Santa María de las Flores (Florencia), la Torre de Pisa (Pisa), la Catedral de San Cerbone (Massa Marittima) y la iglesia San Biagio (Montepulciano), los cuales son ejemplos claves del patrimonio arquitectónico de la Toscana (Rescic *et al.* 2024). Por su parte, el travertino turco muestra un amplio uso en la construcción; destaca el material proveniente de los depósitos de la provincia de Denizli, los cuales han sido ampliamente explotados debido a su apariencia distintiva (Özkul *et al.* 2014).

En Estados Unidos, el travertino también se utiliza ampliamente, evidenciándose su aplicación en la construcción y revestimiento de edificios emblemáticos como la Catedral de San Patricio en Nueva York y el Capitolio (Chafetz & Folk 1984). Según Jiménez *et al.* (2023), el tecali, un tipo de travertino propio de México, ha demostrado su relevancia desde la investigación arqueológica. Los hallazgos indican que, desde la época prehispánica, este material ha sido usado para elaborar objetos ceremoniales y decorativos. Además, se caracteriza por su durabilidad, patrones y vetas, lo cual le confiere un alto valor de uso, estético y simbólico para artesanos, arquitectos y artistas.

El uso del travertino en diversos contextos geográficos y culturales confirman su versatilidad, enriqueciendo la comprensión de su papel a lo largo del tiempo y resaltando su valor histórico. La comprensión técnica del travertino aún presenta limitaciones, por lo que resulta necesario apoyarse en instrumentos normativos que proporcionen criterios claros para su análisis y conservación. Para ello, se emplearán normas específicas que permitirán orientar adecuadamente la caracterización, el uso y la preservación de este material,

facilitando así un abordaje sistemático y fundamentado; por ejemplo, la norma UNE-EN16515:2016 establece las directrices para caracterizar la piedra natural usada en el patrimonio cultural; a su vez, la norma UNE-EN12440:2019 establece los criterios de su denominación frente a la necesidad de unificar la designación de las variedades existentes, manteniendo los nombres tradicionales e introduciendo variables técnicas. Otras normas aportan dichas variables, tal es el caso de la norma UNE-EN 12670:2020 (terminología general sobre pétreos naturales) o la UNE-EN 12407:2007 (caracterización petrográfica).

De otro lado, la conservación de los pétreos, y del patrimonio al cual se asocian, necesita enfoques sistemáticos los cuales permitan diagnosticar y mitigar el deterioro del material. De hecho, este tema ha crecido en interés, en especial debido a múltiples factores humanos y ambientales (Sánchez & Robles 2022; Fernández *et al.* 2023). Según Sánchez & Robles (2022), el análisis del deterioro en los materiales pétreos es crucial para comprender como preservar la arquitectura histórica que los emplea. Factores como exposición a agentes atmosféricos, la contaminación urbana, proceso de cristalización de vetas y la humedad pueden acelerar el desgaste del travertino, afectando su valor patrimonial y su estabilidad estructural. Para Rodríguez *et al.* (2021), en ciudades con alta contaminación, el travertino sufre alteraciones químicas significativas, tales como la carbonatación y la formación de costras negras debido a la acumulación de partículas de sulfato. A su vez, en climas húmedos la proliferación de microorganismos genera deterioro, comprometiendo la calidad del pétreo (Gómez & Lara 2020). A pesar de que estos son problemas ampliamente reconocibles, también se deben considerar aquellos asociados al impacto del cambio climático.

En este contexto, la conservación del travertino ha sido objeto de numerosos estudios (Tavarés 2021; Rodríguez 2019; Gómez & Villalba 2020) enfocados en la restauración y prácticas sostenibles. Los autores destacan la importancia de aplicar métodos de diagnóstico rigurosos para la conservación de revestimientos en edificaciones patrimoniales, ya que su correcta aplicación es esencial para garantizar la durabilidad del travertino en la arquitectura. Con visión integradora, ICOMOS (2004) clasifica las lesiones de la piedra en cinco tipos principales, cada uno de ellos se manifiesta de diferentes maneras y, por ende, afectan la integridad. Estas son: (1) Grietas y deformaciones, las cuales se evidencian a través de fracturas visibles, fisuración radial, craquelado y deformaciones como torsiones y arqueamientos; se generan por cargas estructurales o corrosión en los anclajes. (2) Desprendimiento, abarca fenómenos como ampollas, estallidos y deslaminación, donde las capas de piedra se separan por tensiones internas, expansión de metales oxidados o acción de sales, así como la disgregación y fragmentación en granos o esquirlas. (3) Rasgos inducidos por pérdida de material, se debe a la depresión milimétrica interconectada por disolución selectiva en la piedra calcárea o alabastro. (4) Alteración crómática y depósito, es una capa adherida a la superficie de la piedra, formada por depósitos externos y material propio con espesores variables y tonos claros u oscuros. (5) Colonización biológica, invasión de líquidos de la piedra por microorganismos animales y plantas incluyendo hongos y bacterias.

A pesar de los avances logrados, persisten desafíos significativos en la documentación y análisis del travertino, así como de otros materiales pétreos menos utilizados. La ausencia de estándares unificados, como los existentes en Europa, Turquía o Estados Unidos dificultan esta labor y disminuyen la efectividad de las acciones de conservación. Investigadores como Fernández, Sánchez & Castellá (2023) reiteran la necesidad de contar con metodologías de diagnósticos bien definidas, por ejemplo, atendiendo a las particularidades del travertino. Otros autores como López & Ramírez (2022) y Méndez *et al.* (2021) han propuesto enfoques sistemáticos para la evolución del estado de conservación de este material, a partir de lo cual resalta la necesidad de herramientas tecnológicas como la fotogrametría y el escaneo 3D para mejorar la precisión del diagnóstico.

Frente a esta realidad, la existencia del material no es garantía de conocimiento o conservación, más ante la inexistencia de herramientas y procesos técnicos. En el Ecuador, esta problemática se evidencia en el uso extensivo de pétreos para construcción, acorde con la diversidad geológica. Los principales yacimientos de travertino se localizan en las provincias de Azuay y Cañar, con manifestaciones menores en El Oro y Loja, cuya formación se asocia a procesos hidrotermales, los cuales han permitido su formación en terrazas y vertientes (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables 2021). Según Sánchez Bonilla *et al.* (2022), en Baños (Azuay) existen afloramientos líticos formado por la presencia de carbono de calcio a partir de aguas subterráneas ricas en CO₂, similares a los observados en Canarias (España). Según ARCOM (2016), estos son los depósitos más jóvenes de la región, aún en formación, lo que sugiere su potencial como recurso para la arquitectura e intervención patrimonial. En Quito, el yacimiento arqueológico de La Florida, laderas del volcán Pichincha, combina su valor como necrópolis prehispánica con estructuras en rocas carbonatadas, posiblemente incluyendo travertino de origen hidrotermal (Jara & Almeida 2019), reforzando así la relevancia del estudio.

En Cuenca, se observa el deterioro del travertino local debido a factores ambientales, el cual ha sido evaluado a través del procesamiento digital de imágenes (Villavicencio *et al.* 2021; Aguirre Ullauri *et al.* 2024), o mediante pruebas de hielo-deshielo, envejecimiento, ataque de ácidos y cristalización de sales para conocer su durabilidad (Romero *et al.* 2022). Otros estudios, ahondan en la patología general de los materiales del CHC (Achig *et al.* 2013; Achig *et al.* 2016; Aguirre Ullauri *et al.* 2020). En ninguno de los casos se estudia de manera sistemática la patología en el entorno urbano histórico. Esta falta de información limita la comprensión de los factores que provocan daños y dificulta el diseño de estrategias de conservación adecuadas. La ausencia de datos locales sobre sus propiedades y de una normativa adaptada al contexto cuencano refuerza la necesidad de identificar y documentar sus principales daños, para orientar intervenciones técnicas más efectivas (Aguirre Ullauri *et al.* 2024).

En este contexto, el presente estudio se plantea como una aproximación exploratoria centrada en el análisis visual y contextual del travertino en fachadas de edificios patrimoniales del Centro Histórico de Cuenca. Sus alcances están delimitados por la escala de observación, el muestreo selectivo y los

parámetros metodológicos validados internacionalmente. Así, se identifica, analiza y presenta de manera gráfica la patología del travertino local en el CHC. Esto recalca la necesidad de abordar el deterioro de los materiales históricos mediante un enfoque técnico fundamentado en recursos estandarizados con la finalidad de aportar a la brecha de comprender las causas, mecanismos y formas de degradación del travertino, proponer estrategias de conservación y garantizar su durabilidad asociada a la conservación del patrimonio arquitectónico. En consecuencia, el estudio presenta un aporte metodológico aplicable a otros pétreos y materiales históricos de la región, reforzando así su relevancia, sin desconocer que, existe la necesidad de investigaciones complementarias que aborden el comportamiento del material desde enfoques físico-químicos y multidimensionales. Establecer estas limitaciones desde el inicio permite delimitar el aporte técnico del diagnóstico y orientar futuras líneas de investigación (Yin 2018).

Antecedentes

El Centro Histórico de Cuenca (CHC), en Ecuador, posee un reconocido Valor Universal Excepcional (VUE) [Figura 1]. Es un ejemplo representativo de implantación en la cordillera de los Andes conforme los principios urbanísticos promulgados por el emperador Carlos V. Como centro de desarrollo regional, la población local se ha mezclado con sucesivas generaciones de emigrantes en torno a espacios y edificios propiciando el desarrollo moderno y contemporáneo (UNESCO 2023).

El travertino local, identificado mediante técnicas analíticas como onyx-travertino, es un material histórico ampliamente utilizado que contribuye significativamente a la identidad arquitectónica y cultural de la ciudad y su CH (Romero *et al.* 2022). Su uso intensivo se remonta al período entre 1890 y 1940, durante el desarrollo del Neoclásico de influencia francesa, aprovechando la disponibilidad del material en los yacimientos cercanos de Santa Rosa, Poetata, Baños y Sinincay (Paucar 1995). Durante este periodo histórico y en la tradición constructiva local las juntas se ejecutaban generalmente con morteros de cal aérea combinada con arena local, mientras que en intervenciones más recientes se emplearon mezclas con cemento Portland (Lara Calderón *et al.* 2020).

La fácil extracción y procesamiento del travertino, junto con su capacidad para adaptarse a diferentes tipos arquitectónicos, favorecieron su adopción en diversas construcciones que conforman la arquitectura patrimonial de la ciudad (Aguirre Ullauri 2021). Sin embargo, en la actualidad, la sobrepoblación (INER & SYR Geociencia S.A. 2014) y el agotamiento de los yacimientos debido a su explotación para producir materiales de alta demanda como el cemento (Cornejo 2016; Kamislioglu *et al.* 2024), podrían comprometer su uso tradicional en la artesanía y arquitectura. Cabe señalar que, la obtención del travertino ha respondido históricamente a prácticas de extracción artesanal, carentes de regulación técnica o estandarización formal, dependiendo en gran medida del criterio y la destreza del cantero para determinar la calidad del material entregado.

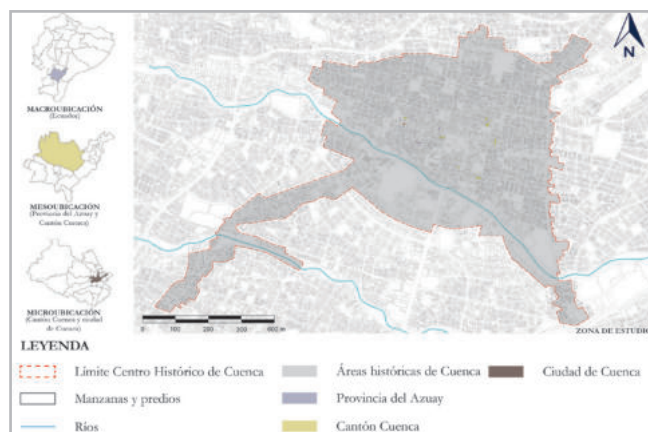


Figura 1.- Localización del Centro Histórico de Cuenca (Ecuador).
 Elaboración: Autores.

El travertino utilizado en Cuenca tiene su origen en formaciones geológicas de tipo sedimentario, compuestas principalmente por carbonato de calcio procedentes de diversos ambientes deposicionales de cuencas sedimentarias; esta condición explica los cambios en las propiedades químicas, físicas, mecánicas y petrográficas de la piedra (Romero *et al.* 2022). Por su origen, el travertino presenta una composición heterogénea con distintas facies; dentro de un mismo bloque pueden coexistir zonas compactas y masivas junto a sectores más porosos o vesiculares, lo que afecta directamente su comportamiento frente al intemperismo, la contaminación y otras acciones externas (Alonso *et al.* 2006). Se forma por la precipitación de carbonatos disueltos en aguas subterráneas, que emergen a la superficie o en cavidades del subsuelo, debido a cambios de presión en la corteza terrestre (Lugo 1989). Según ICOMOS (2004), la exposición prolongada a agentes atmosféricos, la contaminación urbana y la intervención antrópica generan diversas lesiones y daños en este material, tales como grietas y deformaciones, desprendimientos, pérdida de material, alteración cromática, depósito y colonización biológica, comprometiendo su integridad funcional, estructural y valor estético.

Ante esta problemática, resulta imperativo el estudio de los procesos de alteración del travertino en el CHC, con el fin de formular estrategias de conservación que mejoren su estado actual y garanticen su permanencia en el tiempo. Esta necesidad se ve reforzada por la declaratoria del CHC como Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO en 1999, lo que subraya la urgencia de adoptar medidas de conservación alineadas con normativas internacionales para salvaguardar su legado arquitectónico (UNESCO 1972). En este contexto, normas como la UNE-EN 15898:2011 resultan fundamentales, ya que establecen principios y definiciones para la presentación del patrimonio cultural, proporcionando un marco metodológico para evaluar lesiones y definir estrategias de intervención.

Metodología

La investigación se estructura en tres etapas: (1) recopilación y análisis de información relevante sobre el travertino en el patrimonio arquitectónico del CHC mediante revisión bibliográfica reciente y

levantamiento de datos, (2) identificación y documentación de la patología construyendo el estado de conservación de los casos de estudio y, (3) presentación del diagnóstico ilustrado y orientaciones de conservación. Este enfoque, organizado en etapas, permite correlacionar los indicadores de deterioro de los casos de estudio en su contexto, aportando recursos para comprender la patología del travertino local. A detalle:

a) Etapa 1: el travertino del CHC como material histórico

Realizar la recopilación y análisis de información clave sobre el patrimonio arquitectónico, a través de la revisión bibliográfica y el levantamiento de datos, con el fin de fundamentar y contextualizar el estado de conservación y las posibles estrategias de intervención, mediante la revisión y análisis bibliográfico utilizando bases digitales de revistas, artículos y libros relevantes publicados prioritariamente en los últimos 10 años, los cuales faciliten establecer conceptos, métodos, diagnóstico y casos relevantes que traten sobre el travertino y permitan sustentar las estrategias de intervención de manera fundamentada. Se priorizan las bases de datos Scopus y Web of Science.

b) Etapa 2: identificación y documentación de lesiones

Se establece un proceso para detectar, documentar y clasificar los daños en el travertino mediante la inspección, registro y reporte detallado, el cual se organiza en subetapas. A saber:

1. La selección o definición de casos de estudio que empleen travertino utilizando el inventario vigente de edificios patrimoniales del Centro Histórico de Cuenca [Figura 2]. Para ello, se toman los recursos analizados en el proyecto de investigación "Los materiales en el estudio histórico, constructivo y ambiental de los conjuntos históricos. El caso de Cuenca. ETAPA 3. Versión Resilient". En dicho estudio se considera un universo de 3275 edificaciones, el cual corresponde a tres de las siete categorías patrimoniales del Inventario Patrimonial del Centro Histórico de Cuenca, las cuales son (1) Valor Arquitectónico A (VAR A (3)), (2) Valor Arquitectónico B (VAR B (2)) y (3) Valor Ambiental (V A (1)) y busca destacarlas por su representatividad cuantitativa, relevancia en la conformación del territorio y vínculo al desarrollo cotidiano del CHC.

A partir de este universo, que representa aproximadamente un tercio de las edificaciones existentes, se estableció una muestra estadísticamente representativa de 344 casos, entre las cuales se ha registrado 291 casos con revestimientos tradicionales y 53 casos con revestimientos pétreos y cerámicos, los cuales se encuentran distribuidos en siete zonas [Figura 2]. El nivel de confianza de esta selección alcanza el 95 % con un margen de error del 0,05 % (Aguirre Ullauri *et al.* 2024). A su vez, dentro de esta muestra, se identificaron aquellos edificios en los que el travertino constituye el material predominante en fachada, obteniéndose un subconjunto de 10 casos, distribuidos según su categoría patrimonial de la siguiente manera: un caso en la categoría de Valor Arquitectónico A (VAR A (3)), siete casos en Valor Arquitectónico B (VAR B (2)), y dos casos en Valor Ambiental (V A (1)).

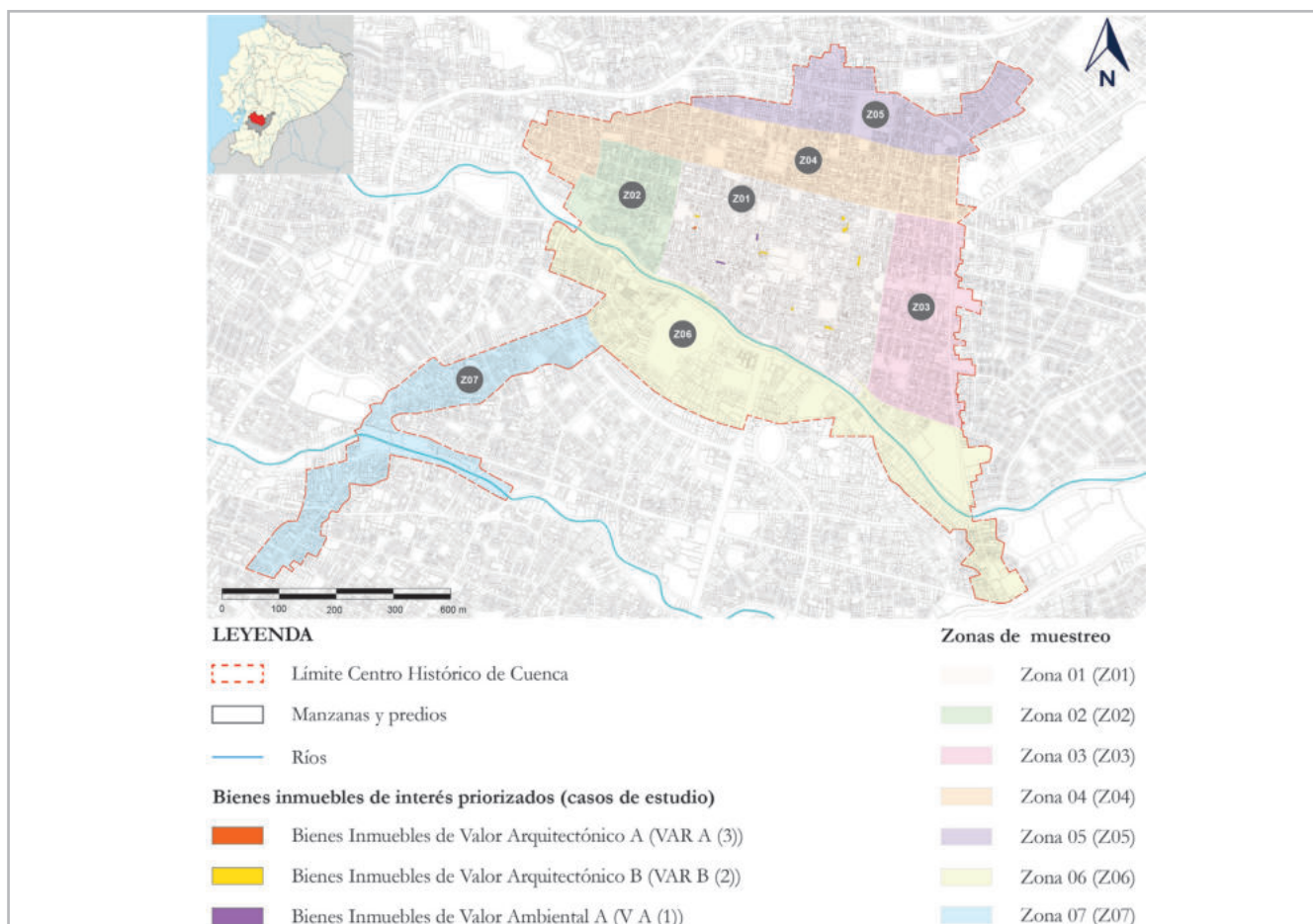


Figura 2.- Casos de estudio por zona en el Centro Histórico de Cuenca. Fuente: Aguirre Ullauri *et al.* (2024). Elaboración: Autores

La distribución muestral final es cuasi homogénea en relación con el número de edificios por categoría. La variación existente de ± 2 (de 5 a 7 casos) en la categoría intermedia y ± 3 (de 5 a 2 casos) en la categoría inferior se debe a la inexistencia de otros edificios en tales categorías de valor patrimonial que evidencia presencia representativa de travertino.

2. Levantamiento de información mediante la metodología Art Risk, enfocada en documentación fotográfica y técnica de las fachadas con el registro detallado de la patología visible del travertino en cada caso. Así, se aplican fichas Art Risk 1 [Figura 3a] para el estudio del estado de conservación de fachadas permitiendo identificar las lesiones presentes mediante indicadores técnicos, precisando su ubicación en los distintos elementos arquitectónicos que conforman cada fachada. Asimismo, usando la ficha Art Risk 3 [Figura 3b], diseñada por Ortiz (2014), adaptadas por Aguirre Ullauri *et al.* (2024a) para el estudio específico de fachadas, se analiza el contexto inmediato del edificio, aportando una visión integral de los factores que inciden en el origen y desarrollo de dicha patología bajo el concepto de vulnerabilidad e incorporando las variables de magnitud, probabilidad e impacto de los posibles riesgos para proponer medidas preventivas que minimicen las consecuencias de una emergencia (Ortiz & Ortiz 2016; Moreno *et al.* 2023).

Una vez recopilada esta información, se organiza para su análisis técnico, presentación y formulación de estrategias de

intervención. Se usa a manera de orientación las normas UNE-EN 16096: 2016 y UNE-EN 41810: 2017.

3. Caracterización de lesiones a través de la inspección visual pormenorizada para identificación, descripción y registro fotográfico individual de lesiones, la cual permita detectar, clasificar y caracterizar cada caso. Se usa, con base en orientaciones de la norma UNE-EN 41810:2017, un registro detallado de cada una de ellas y sus características específicas como tamaño, forma, profundidad y posibles causas [Figura 4], con la finalidad de proporcionar criterios técnicos aplicables al estudio de materiales pétreos en el ámbito del patrimonio cultural. Dicha norma se emplea como guía metodológica para establecer un enfoque sistemático en la investigación del estado de conservación. Por su parte, la inspección visual se complementa con la cartografía de alteraciones, información métrica y registro fotográfico.

Este proceso posibilita analizar con precisión los patrones de deterioro, facilitando la identificación, distribución y seguimiento de su evolución, así como la evaluación del impacto en la estabilidad tanto material como patrimonial del bien, con el fin de establecer una base técnica reproducible que fortalezca la fase diagnóstica y guíe la toma de decisiones respecto a futuras intervenciones de conservación.

4. Análisis de las lesiones según ICOMOS (2004) a partir

a)

Ubicación de los casos y zona de estudio				
Colocar el mapa con el caso y su respectiva zona			Colocar fotografía del caso de estudio (Fachada)	
Indicadores de alteración de los casos				
Indicador	Valoración	Frecuencia		
		Zona de estudio:	Caso de estudio:	Elemento en el que se encuentra
Grieta y deformación	Fractura	frc		
	Fisuración radial	fr		
	Fisura	fs		
	Craquelado	cr		
Desprendimiento	Disyunción en las	dis		
	Ampollas	am		
	Estallido	es		
	Deslaminación	dl		
	Disgregación	dg		
	Fragmentación	fr		
Rasgos inducidos por pérdida de material	Disyunción de películas	dp		
	Descamación	dc		
	Alveolización	al		
	Erosión	er		
Alteración cromática y depósito	Daños de origen mecánico	dom		
	Microaristificación	mc		
	Falante	fl		
	Perforación	pr		
Colonización biológica	Pitting	pt		
	Costras	cs		
	Depósito	dp		
	Alteración cromática	ac		
	Eflorescencia	ef		
	Incrustación	in		
	Película	pl		
	Brillo	br		
	Graffiti	grf		
	Pátina	ptn		
Otros	Enmugrecimiento	en		
	Subflorescencia	sb		
	Algas	al		
	Laguna	lq		
Contexto inmediato	Musgo	ms		
	Hongo	hn		
	Plantas	pl		
	Intervenciones	int		
Reposiciones	Reposiciones	rep		
	Incrustaciones	inc		
	Tráfico			
	Exposición			

NOTA: Valoración del daño. 1: muy ligero/leve; 2: leve; 3: moderado/severo; 4: muy severo

Frecuencia. 1: es escaso, se encuentra con dificultad; 2: frecuencia media, se observa con facilidad; 3: abundante. Tráfico. P. peatonal; 1: peatonal; 2: Baja intensidad; 3: media intensidad; 4: alta intensidad; 5: muy alta intensidad. Expuesto a inclemencias meteorológicas. Orientación y exposición. 1: poco expuesta; 5: muy expuesta.

b)

VULNERABILIDAD				
Contexto	Elemento Construido	Tipología arquitectónica	Conservación	
1.0	Muy favorable	1.0	1.0	1.0
2.0	Favorable	2.0	2.0	2.0
3.0	Desfavorable	3.0	3.0	3.0
4.0	Desfavorable	4.0	4.0	4.0

VULNERABILIDAD ANTROPICA				
Construcción de población	Valor puntual	Valor asociado	Tipo de uso	Intensidad de uso
1.0	> 10%	1.0	1.0	1.0
2.0	5% - 10%	2.0	2.0	2.0
3.0	< 5%	3.0	3.0	3.0
4.0	< 10%	4.0	4.0	4.0
5.0	< 10%	5.0	5.0	5.0

RIESGO MEDIOAMBIENTAL				
Precipitación media	Riesgo por viento	Riesgo por lluvia	Riesgo por nieve	Riesgo por heladas
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

RIESGOS NATURALES				
Riesgo por movimientos en masa	Riesgo por actividad sísmica	Riesgo por actividad volcánica	Riesgo por actividad de inundaciones	Riesgo por actividad de incendios
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

OBSERVACIONES

NOTA: El estudio que se llevará a cabo se limitará exclusivamente a la evaluación de la fachada de la edificación. El indicador de vulnerabilidad correspondiente a este apartado, ha sido estandarizado mediante una única clasificación de vulnerabilidad, adoptando el valor máximo de 5.0, con el fin de prevenir posibles inconsistencias o errores en la aplicación de la metodología ART RISK.

Figura 3.- Fichas de levantamiento de información. a) Ficha Art Risk 1 para el estudio del estado de conservación de fachadas y, b) Ficha Art Risk 3 para la evaluación de vulnerabilidad y riesgo intrínseco y extrínseco de los casos de estudio. Fuente: Aguirre Ullauri *et al.* (2024). Elaboración: Autores

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA POR LESIÓN O DAÑO	
TIPO DE LESIÓN:	UBICACIÓN: (Fachada principal, base del muro, cornisa)
	Descripción: Coloración ☐ Amarillenta ☐ Marrón ☐ Negra ☐ Blancuina ☐ Rojiza ☐ Transparente ☐ Verde ☐ Otro: Distribución del color ☐ Uniforme ☐ Manchas dispersas ☐ Concentrada en bordes ☐ Otro: Distribución: Profundidad: ☐ Superficial < 1 mm ☐ Media (1 - 5 mm) ☐ Alta (> 5 mm) Causas probables: ☐ Rugosa ☐ Disgregada ☐ Pulverulenta ☐ Lisa anómala Forma ☐ Línical ☐ Irregular ☐ Punteada ☐ Reticulada ☐ Escalonada ☐ Otro: Fecha de evaluación:
	Escala: Dimensiones: Área:

Figura 4.- Documentación fotográfica y técnica de lesiones individuales. Fuente y Elaboración: Autores.

de información recopilada durante la inspección visual y en el registro fotográfico se comprueban y organizan los diferentes daños. También se consideran las orientaciones de las normas UNE-EN 41805-10 IN:2009 y UNE-EN 41810:2017.

c) Etapa 3: proponer un diagnóstico técnico ilustrado

Esta etapa se subdivide en 3 subetapas que permiten establecer la magnitud de afectación en el travertino el cual permita evidenciar el diagnóstico ilustrado y las estrategias requeridas para la conservación de los casos de estudio; a continuación, se detalla:

1. Presentación clasificada y categorizada de daños en función de las 5 categorías: (1) grieta y deformación, (2) desprendimiento, (3) rasgos inducidos por pérdida de material, (4) alteración cromática y depósito y, (5) colonización biológica (ICOMOS, 2004). Como recurso de apoyo se usa la norma UNE-EN 41805-10 IN:2009, con lo cual se organiza cada caso de estudio.

2. Diagnóstico técnico mediante una ficha que permita ilustrar y describir las condiciones de deterioro del travertino. Incluye representaciones técnicas y gráficas (tablas y figuras) que permitan una visión detallada del estado del material (UNE-EN 41810:2017).

Caso de estudio #	Clave Catastral	Orientación	Tráfico	Categoría Patrimonial
Ubicación:		Elevación Frontal		
		Escala: 1:100		
Cuadro Patológico				
Estado de conservación:				

Figura 5.- Ficha de recolección de información de lesiones. Elaboración: Autores.

3. Determinación de estrategias de intervención basadas en el diagnóstico y evaluación previa. Se priorizan métodos de conservación y mínima intervención tomando como referencia la información recopilada en pro de proponer soluciones preventivas y de reparación, que disminuyan la alteración del travertino y respeten su originalidad.

La consulta y aplicación de criterios referidos en las normas UNE-EN 41810:2017 y UNE-EN 16853:2018 permiten precisar las posturas técnicas. Tales criterios son; según la norma UNE-EN 41810:2017, la intervención mínima y compatible, privilegiar la estabilidad del soporte y actuar sobre las causas del deterioro, tratamientos reversibles, permitir el mantenimiento posterior y utilizar materiales compatibles con el travertino. Estos criterios proceden claramente de la evolución de la teoría de la conservación. Por su parte, la norma UNE-EN 16853:2018 establece que las estrategias deben surgir del diagnóstico técnico, basarse en opciones evaluadas con criterios de riesgo, eficacia y sostenibilidad, y formularse dentro de un plan de conservación que garantice el respeto por el valor patrimonial y la trazabilidad de las decisiones adoptadas.

Resultados y Discusión

— a) Sobre el diagnóstico general

A través del levantamiento de información usando Art Risk 1 es posible determinar el panorama general del estado de conservación del ónix travertino usado en las fachadas patrimoniales construidas con dicho material en el CHC. Los casos de estudio y su distribución en las diferentes categorías patrimoniales de interés muestran tendencias claras de deterioro, así como predominio de lesiones específicas.

Inicialmente, es posible indicar que únicamente se identifican casos de estudio conforme a la relevancia y distribución en las tres categorías de interés de la muestra en la Z01 [Figura 2]. Esta zona se corresponde con el área de fundación de Cuenca a mediados del siglo XVI; concentra gran parte de edificios de alto valor patrimonial y destaca en cuanto al uso de estilos, materiales y características asociadas a la modernización urbano-arquitectónica comprendida entre 1890 y 1940 (Borrero 2018). Derivado de ello, el Neoclásico de influencia francesa es el estilo predominante [Figura 6], aunque son visibles los rasgos vernáculos propios del mestizaje histórico [Figura 6f] y [Figura

6j]. El uso del travertino no solo respondía a criterios técnicos o estéticos, sino que también expresaba un deseo de distinción social. Este material, asociado a la arquitectura europea, fue adoptado por las élites locales como símbolo de modernidad y estatus (Espinoza & Abad 2003).

Las diez fachadas analizadas presentan lesiones en los bloques de travertino a nivel individual, pero también en elementos arquitectónicos, lo cual es el resultado de procesos de desgaste, alteraciones o intervenciones ocurridas a lo largo del tiempo y con diferentes intensidades (Veniale *et al.* 2008), así como de la heterogeneidad del material. La presencia de estas lesiones varía entre los casos, desde fachadas con daños menores hasta afectaciones severas mostrando el efecto combinado de factores ambientales y antrópicos que han incidido directamente en el estado de conservación de cada una (Arencibia *et al.* 2020).

Al estar permanentemente expuestas, y carecer de barreras de protección, las superficies se ven afectadas por la humedad ambiental (García & Guerrero 2023). En sentido Sur- Norte, se orientan 6 fachadas las cuales tienen poca exposición solar y difícil secado natural, lo que favorece la acumulación de agua (Alonso *et al.* 2006). Estas condiciones dan lugar a pérdida de material, alteraciones cromáticas y colonización biológica, entre otras formas de deterioro como las intervenciones, reposiciones e incrustaciones motivadas por la mejora de la apariencia [Figura 6], las cuales, sin embargo, comprometen la integridad del travertino y su valor expresivo (Correa 2023). Asimismo, la alta exposición al tránsito peatonal y vehicular genera fricción constante, depósito de contaminantes y daños mecánicos sobre componentes arquitectónicos (Ruíz *et al.* 2023). Además, la contaminación generada por el tráfico intenso en el CHC constituye un factor de riesgo relevante, ya que los compuestos emitidos por los vehículos pueden inducir procesos de alteración química, como la formación de costras negras, disolución superficial de carbonatos y pérdida de cohesión del material. Este tipo de afectación debe considerarse en las estrategias integrales de conservación preventiva (Rodríguez *et al.* 2021). Por su parte, la presencia de grafitis evidencia una apropiación no controlada ni consciente del valor patrimonial del espacio, alterando la imagen original y comprometiendo el valor histórico y estético del material (Mejía & Ortega 2019) [Figura 6].

En cuanto a las grietas y desprendimientos en materiales pétreos, estos se deben a la sinergia de factores intrínsecos propios del material, es decir, composición, porosidad y su textura; factores ambientales, como la humedad, cambios bruscos de temperatura, contaminantes y sales solubles; y factores constructivos, relacionados con la extracción, manipulación y colocación de la piedra. Esta interacción desencadena alteración física, química y biológica que generan tensiones internas (térmica y mecánicas), debilitan al material y provocan la aparición de estas lesiones (Alonso *et al.* 2006). Además, la variación en la composición del mortero de juntas ha demostrado tener efectos directos sobre el comportamiento del revestimiento (Aguirre Ullauri



Figura 6.- Casos de estudio: a) Bien inmueble de Valor Arquitectónico A (VAR A (3)); b), c), d), e), f), g) y h), Bienes inmuebles de Valor Arquitectónico B (VAR B (2)); e i) y j) Bienes inmuebles de Valor Ambiental A (VA 1). Elaboración: Autores.

et al. 2020) o los elementos constructivos; los morteros de cal aérea presentan una mayor compatibilidad química y física con el travertino, favoreciendo la permeabilidad al vapor y permitiendo la adecuada transpiración del muro, lo cual contribuye a su estabilidad y durabilidad (Lara Calderón *et al.* 2020). En contraste, los morteros a base de cemento Portland, por su mayor rigidez y bajo coeficiente de permeabilidad, generan tensiones internas, aceleran la acumulación de sales solubles y propician fenómenos de fisuración y disgregación superficial del material pétreo (Lara Calderón *et al.* 2020; Aguirre Ullauri *et al.* 2020).

En la Figura 7 se presenta la distribución de lesiones patológicas conforme a las categorías de análisis establecidas por ICOMOS (2011). En la primera categoría (grietas y deformaciones) se identificaron nueve casos. En la segunda categoría (desprendimientos) se registró en cinco casos, evidenciando la pérdida de fragmentos del travertino en forma de estallidos, ampollas, descamación y disyunción de películas, producto de tensiones internas y agentes físico-mecánicos (Alonso *et al.* 2014). La tercera categoría (rasgos inducidos por pérdida de material) se manifestó en nueve casos mediante perforaciones, pitting, alveolización y erosión, procesos que debilitan el material y aumentan la vulnerabilidad (Veniale *et al.* 2008) del material.

En cuanto a la cuarta categoría (alteración cromática y depósitos), se presenta en todos los casos, con manifestaciones de manchas por humedad, pátina, decoloración, grafitis asociados a la acumulación de contaminantes atmosféricos (Arencibia *et al.* 2020). En el caso de la descamación, se manifiesta como el

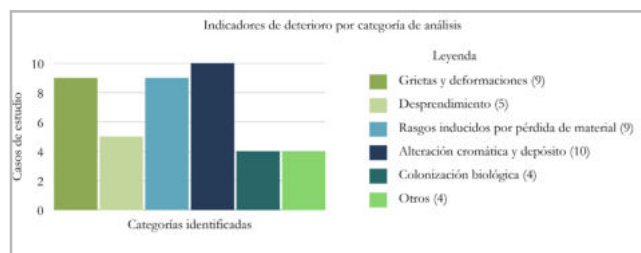


Figura 7.- Distribución de las lesiones identificadas por categorías. Elaboración: Autores.

desprendimiento de fragmentos en forma de escamas o láminas, que disminuyen su espesor hacia los bordes. Este fenómeno ocurre debido a varios factores, como la heterogeneidad del material, la presencia de sales que se disuelven con el agua y la pérdida de adherencia de los tratamientos aplicados en la superficie. También genera tensiones internas que merman la cohesión entre las capas superficiales de la piedra (Alonso *et al.* 2006). En el caso de la quinta categoría, colonización biológica, se documentó en cuatro casos con presencia de vegetación (plantas, musgos y líquenes) cuyo desarrollo se vincula a condiciones de humedad persistente y escasa exposición solar (Arencibia *et al.* 2020).

Por otro lado, en igual número de casos se detectaron alteraciones derivadas de intervenciones e incrustaciones incongruentes con el diseño original, las cuales afectan negativamente la integridad formal y el valor patrimonial e histórico de las fachadas.

Lo expuesto ofrece un panorama sobre el travertino al padecer ciertos tipos de daños. En este sentido, las categorías con mayor frecuencia son: alteración cromática y depósitos (100 %), grietas y deformaciones (90 %) y rasgos inducidos por pérdida de material (90 %), lo que indica una alta vulnerabilidad del material a estos procesos. Las demás categorías presentan una incidencia menor: desprendimientos (50 %), colonización biológica (40 %) y otros (40 %). Esta información resulta clave para priorizar estrategias de conservación y restauración.

Por su parte, la ubicación y distribución de las lesiones ha sido clave para construir y comprender el cuadro patológico de los diferentes casos [Tabla 1]. Se sabe que, al zócalo y a varios segmentos del paramento, principalmente aquellos localizados en la parte superior, inferior y lateral de las ventanas, y para el caso de las puertas, aquellos segmentos ubicados a los laterales y parte superior son los elementos con mayor diversidad de alteraciones. Estos elementos arquitectónicos presentan daños en las cinco categorías; destaca la presencia de fracturas (grieta y deformación), ampollas, estallidos (desprendimiento), alveolización, erosión, micro karstificación, perforación y pitting (rasgos inducidos por pérdida de material), brillo superficial, decoloración, grafiti, manchas por humedad y pátina (alteración cromática y depósito) y musgo (colonización biológica). También existe presencia de reposiciones, intervenciones e incrustaciones, es decir, acciones eminentemente antrópicas y mayormente antitécnicas. A detalle se expone:

Categoría	Tipo de lesión	Elemento arquitectónico							
		Zócalo	Columna	Cornisa	Segmentos del paramento	Alféizar	Frontón	Balcón	Capitel
Grieta y deformación	Fractura	•	•		•				
	Craquelado	•	•		•				
Desprendimiento	Ampolla	•	•		•			•	
	Descamación	•							
	Disyunción de película		•						•
Rasgos inducidos por pérdida de material	Estallido	•			•				
	Alveolización	•	•	•	•	•			
	Erosión	•	•		•	•			
	Perforación	•			•		•	•	
	Pitting			•	•	•			
Alteración cromática y depósito	Brillo superficial	•							
	Costras			•		•			
	Decoloración	•	•	•	•				
	Grafiti	•							
	Alteración cromática (manchas por humedad)	•		•		•	•	•	
Colonización biológica	Pátina	•	•		•				
	Liquen			•					
	Musgo	•				•		•	
	Plantas				•				
Otros	Reposiciones	•			•				
	Intervención	•							
	Incrustación	•			•				

Tabla 1.- Lesiones en elementos arquitectónicos

a. Zócalo: por su alta exposición a la humedad ascendente por capilaridad, se generan procesos de disolución de sales solubles, lo que contribuye a la fractura y craquelado (Ortiz *et al.* 2017). La acumulación de humedad favorece el crecimiento de musgos y otros organismos biológicos, acelerando la desintegración de la superficie (Demirdag 2013).

b. Antepechos y segmentos laterales del paramento junto a ventanas: presentan erosión que se incrementa por la exposición directa a la intemperie, principalmente por la acción del viento y las fluctuaciones térmicas (Bustamante 2021). La retención de humedad en las superficies rugosas, como las que se estudian, favorece la perforación, que se produce principalmente por la acción de agentes químicos, como ácidos que disuelven la piedra, y la presencia de sales que al cristalizar generan presión interna, fracturas y el pitting, lo que se debe a la acción disolvente de la humedad sobre los carbonatos del travertino (Alonso *et al.* 2006). La alteración cromática y el depósito de partículas atmosféricas provocan la decoloración del material, los cuales se agravan con la contaminación y las emisiones urbanas (Sánchez *et al.* 2022).

c. Columnas: presentan afectaciones en cuatro categorías; fractura y craquelado (grietas y deformaciones), ampolla y disyunción de película (desprendimiento), alveolización y erosión (rasgos inducidos por pérdida de material) y decoloración y pátina (alteración cromática). Las dos primeras están asociados a la acción de tensiones estructurales generadas por la carga vertical y las variaciones térmicas que provocan la expansión y contracción del material (Bustamante 2021). La alveolización y erosión se incrementan por la acumulación de agua en las superficies verticales, favoreciendo la disolución del travertino (Alonso *et al.* 2006). La decoloración y pátina, por otro lado, están asociadas a la exposición al medio ambiente, con efectos de contaminación y depósitos orgánicos o inorgánicos que alteran la cromaticidad del material (Alonso *et al.* 2006).

d. Cornisa: las alteraciones se agrupan en tres categorías; alveolización, pitting (rasgos inducidos por pérdida de material), costras, decoloración, manchas por humedad (alteración cromática y depósito), y líquenes (colonización biológica). Estos daños son producto de la exposición directa a las precipitaciones pluviales que, al no ser adecuadamente evacuadas, se retiene agua en la superficie, facilitando la erosión del travertino (Aguirre Ullauri *et al.* 2024). El pitting y la alveolización se deben a la acción disolvente de agua sobre los carbonatos del travertino (Urosevic *et al.* 2010), mientras la alteración cromática y el crecimiento biológico son causados por la retención de agua y la acumulación de nutrientes en la superficie, lo que favorece la colonización de líquenes (Valverde *et al.* 2021).

e. Alféizar: las patologías se distribuyen en tres categorías; alveolización, erosión, pitting (rasgos inducidos por pérdida de material), costras y manchas por humedad (alteración cromática y depósito), y musgos (colonización biológica). La forma horizontal del alféizar favorece la retención de humedad y la acumulación de partículas orgánicas, lo que aumenta la probabilidad de erosión superficial y alteraciones cromáticas (Sánchez *et al.* 2022). El crecimiento de musgos es favorecido por la humedad atrapada, que proporciona un ambiente ideal para su desarrollo (Valverde *et al.* 2021).

f. Frontón: presenta lesiones concentradas en dos categorías; perforación (rasgos inducidos por pérdida de material) y manchas por humedad (alteración cromática). Estas lesiones son atribuibles a infiltraciones de agua que se filtran por puntos débiles en la estructura, afectando principalmente la superficie del travertino y acelerando la perforación (Karaca 2010). La alteración cromática se debe a la acumulación de humedad en las fisuras o juntas mal selladas, lo que produce manchas localizadas.

g. Balcón: presenta cuatro categorías de lesiones; ampolla (desprendimiento), perforación (rasgos inducidos por pérdida de material), manchas por humedad (alteración cromática y depósito), y musgo (colonización biológica). El desprendimiento y la perforación se deben a la acción combinada de la humedad pluvial y las fluctuaciones térmicas, que generan tensiones superficiales y alteraciones en la cohesión del material (Demirdag 2013). El crecimiento de musgos es favorecido por la humedad atrapada en el balcón, que proporciona un ambiente propicio para su desarrollo (Valverde *et al.* 2021).

h. Capiteles: evidencia afecciones en una categoría, se muestra únicamente disyunción de película (desprendimiento), lo que está relacionado con el envejecimiento natural del material, la exposición prolongada a la intemperie y los tratamientos de conservación inapropiados, que generan una pérdida de cohesión superficial y facilitan la desintegración de las capas externas del travertino (Aguirre Ullauri *et al.* 2024).

En cuanto a la distribución [Figura 8a] se evidencia que, si bien el deterioro está presente en diferentes de elementos, existe mayor ocurrencia y diversidad patológica en aquellos componentes

más expuestos a agentes físicos, químicos y biológicos, tal como los casos del zócalo y antepecho de las ventanas. Además, este conjunto de lesiones y su distribución en las fachadas y elementos arquitectónicos se asocia directamente a los diversos factores específicos cuyo alcance es el CHC [Figura 3], por lo que, además de evidenciarse en el travertino y en fachadas patrimoniales, podrán presentarse en otros casos.

De otro lado, al considerar la ficha Art Risk 3 se amplía el panorama previo hacia los riesgos potenciales que inciden en el material, pero que se encuentran en el contexto inmediato, y que también se deben considerar a efectos del planteamiento técnico de acciones de conservación. De tal forma, se acota que, el CHC es un área caracterizada por un suelo compuesto por rocas y arcillas de una estructura geotécnica relativamente estable, pero vulnerable a las infiltraciones de agua debido a las precipitaciones constantes que afectan la durabilidad de los materiales pétreos como el travertino (Avilés & Barzallo 2016).

En cuanto al uso del suelo, la Z01 presenta una alta intensidad de uso comercial, con una concentración significativa de actividades turísticas y comerciales que contribuyen

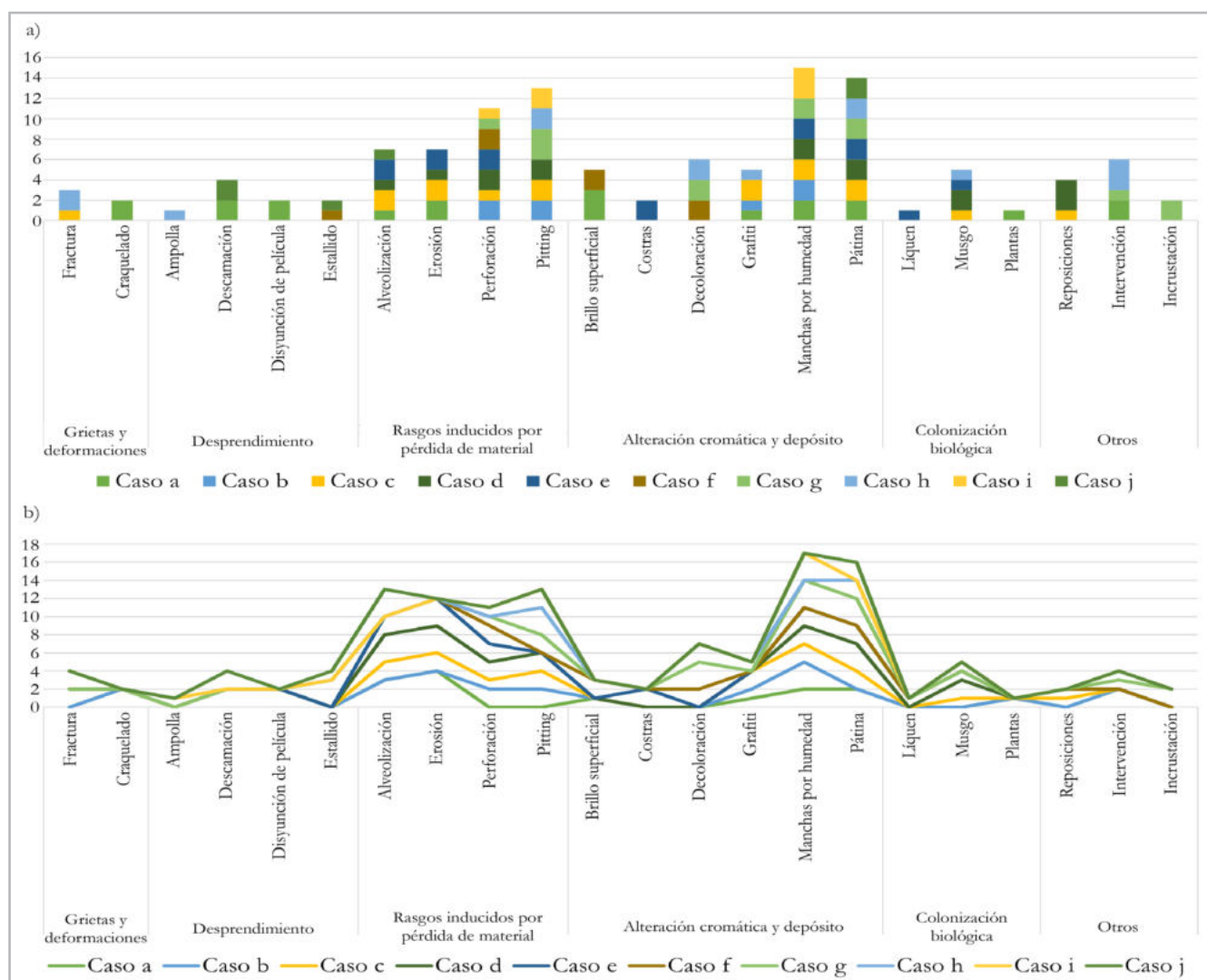


Figura 8.- Análisis patológico. a) Distribución de la frecuencia de las lesiones identificadas y b) Distribución de las lesiones por casos y categorías. Elaboración: Autores.

a la degradación acelerada de las superficies expuestas (Bustamante 2021). Las edificaciones dentro del CHC están organizadas de forma compacta, a lo largo de las calles, con fachadas que dan directamente a la vía pública, lo que aumenta la exposición a factores ambientales como las lluvias y la contaminación urbana, así como su accesibilidad al vandalismo y otras dinámicas negativas asociadas al uso intensivo del espacio público, como grafitis, acumulación de residuos o intervenciones no autorizadas. A esto se suman las características de la precipitación media anual, con lluvias concentradas entre los meses de enero y marzo, lo cual provoca una erosión significativa, especialmente en las fachadas y los elementos arquitectónicos más expuestos (Aguirre Ullauri *et al.* 2024). Además, las fluctuaciones térmicas diarias, típicas de la región andina, generan un estrés térmico considerable que afecta la cohesión del travertino, contribuyendo a su fracturación y a la aparición de fisuras (Aguirre Ullauri *et al.* 2024). La presencia de heladas nocturnas también favorece el deterioro debido a la expansión y contracción de los componentes minerales.

En conjunto, estas condiciones no solo alteran la superficie visible, sino que también afectan de manera progresiva la matriz pétreo del travertino, generando pérdida de cohesión interna y debilitamiento estructural. La ficha Art Risk 3 advierte que, en contextos como el CHC, la interacción entre precipitación, erosión pluvial, estrés térmico y ciclos de congelación/deshielo tiene una incidencia directa sobre la estabilidad del material, aumentando su vulnerabilidad incluso en ausencia de daños aparentes. Por ello, el diagnóstico técnico debe contemplar tanto los efectos superficiales como los procesos de alteración interna vinculados al entorno ambiental.

En términos de riesgos naturales, el CHC está ubicado en una zona sísmicamente activa, lo que incrementa la probabilidad de movimientos de masas que podrían afectar la estabilidad los edificios (Jiménez *et al.* 2018). Asimismo, el riesgo de inundaciones, especialmente en áreas cercanas al río Tomebamba, es relevante, ya que la acumulación de agua, combinada con la falta de un drenaje adecuado, podría generar un ambiente propicio para el desgaste y la disolución, a través de procesos como el pitting [Figura 8b].

— b) Presentación del diagnóstico técnico ilustrado

Este apartado presenta la clasificación de la patología del travertino local y su expresión específica en diferentes elementos arquitectónicos. En la Figura 9a, se identifica una fractura típica, correspondiente a la categoría de grietas y deformaciones, la cual se extiende de forma lineal y presenta bordes irregulares, lo que sugiere que ha sido provocada por esfuerzos estructurales mal distribuidos o asentamientos diferenciales del material. La morfología de la grieta indica una fractura por tensión interna acumulada, posiblemente exacerbada por variaciones térmicas o cargas mecánicas repetidas. De acuerdo con Camuffo (2014), este

tipo de patología estructural es común en materiales pétreos sujetos a movimientos diferenciales o cargas excesivas. También se identifica craquelado [Figura 9b] superficial en una columna de travertino, atribuible al envejecimiento y factores ambientales, que aumenta su vulnerabilidad a la humedad y contaminación (Fassina 1998).

Por otra parte, se observan diversos tipos de desprendimientos, cada uno con características morfológicas claramente diferenciadas. Se evidencia descamación [Figura 9c] en forma de capas laminares que se separan del núcleo del material, una alteración frecuentemente asociada a procesos de humedad interna y cristalización de sales solubles. Asimismo, se detecta la disyunción de película [Figura 9d], donde la capa superficial se separa visiblemente del soporte, fenómeno atribuido al envejecimiento de tratamientos superficiales o a una adhesión deficiente (Arnold & Zehnder 1991). En otra zona se aprecia una ampolla [Figura 9e], que se manifiesta como una protuberancia convexa, indicando la presión ejercida por el vapor atrapado entre capas debido a la humedad acumulada. Finalmente, el estallido [Figura 9f] es evidente en zonas donde el material parece haber explotado desde el interior, con fragmentos irregulares. Este proceso patológico se asocia a la cristalización y recristalización de sales solubles, las cuales, al disolverse con la humedad y volver a cristalizar, ejercen presiones internas que fracturan la piedra (ICOMOS-ISCS 2008), no así a las condiciones climáticas que favorecen choques térmicos y ciclos de congelamiento-deshielo significativos toda vez que, en Cuenca las temperaturas oscilan moderadamente entre 7 °C y 17 °C durante el año, y rara vez bajan de 5 °C o superan los 19 °C (WeatherSpark 2025), capaces de producirlo. Se presentan diversas manifestaciones de pérdida de material, todas vinculadas a la categoría de rasgos inducidos por pérdida de material. Destaca la alveolización [Figura 9g], compuesta por pequeñas cavidades cóncavas redondeadas, comúnmente provocadas por la acción del viento y las partículas en suspensión o la disolución por agua con sales (Camuffo 2014). Además, se identifican perforaciones [Figura 9h], huecos más profundos de forma irregular que probablemente se originan por ataques químicos o biológicos localizados (Rodríguez *et al.* 2003). La erosión [Figura 9i] es evidente como un desgaste uniforme de la superficie pétreo, causado por la acción combinada de lluvia ácida, partículas abrasivas y exposición prolongada a la intemperie, también se observan formas circulares poco profundas compatibles con pitting [Figura 9j], atribuido a procesos químicos puntuales o ataques localizados de microorganismos (ICOMOS-ISCS 2008).

Por otra parte, en la alteración cromática y la presencia de depósitos superficiales. Se identifican zonas con decoloración [Figura 9k] evidente, producto de la exposición prolongada a la radiación solar o a procesos químicos que alteran la tonalidad original del material. También se observan superficies con brillo irregular [Figura 9l], probablemente originado por la degradación de capas protectoras o contaminantes atmosféricos adheridos. La pátina [Figura 9m] se manifiesta como una

película delgada, de tonalidad oscura, consecuencia de la acumulación de polvo o de biopelículas asociadas a humedad persistente. Asimismo, se detecta la presencia de grafitis [Figura 9n] con pigmentos artificiales, cuya morfología lineal indica una intervención antrópica directa. En sectores inferiores, se reconocen alteración cromática (manchas oscuras de humedad) [Figura 9o] que denotan absorción capilar, mientras que en otras áreas se ha formado una costra [Figura 9p] superficial endurecida, posiblemente por acumulación de partículas contaminantes (Fassina 1996). Asimismo, existe presencia de colonización biológica, en primer lugar, se reconocen líquenes [Figura 9q] adheridos a la superficie, con formas irregulares que van desde estructuras planas hasta colonias dispersas. También es visible el crecimiento de musgos [Figura 9r] en zonas más húmedas y sombreadas, lo cual indica un lugar sin contacto directo con el sol. En sectores más alterados se evidencian plantas [Figura 9s] de raíces invasivas o trepadoras, cuya presencia implica una amenaza estructural directa para el soporte pétreo. Este tipo de colonización es indicativa de humedad persistente, escasa ventilación y falta de mantenimiento, factores que, según (Warscheid & Braams 2000), favorecen el desarrollo de organismos biológicos sobre superficies minerales.

Finalmente, se observa patología vinculada a intervenciones humanas o inclusión de elementos ajenos al material original. Se destacan las reposiciones [Figura 9t] realizadas con materiales distintos, que generan disonancia cromática y textural con el contexto original. También se identifican intervenciones [Figura 9u] como la instalación de anclajes metálicos o dispositivos adosados que perforan la piedra, alterando su integridad física. En ciertas áreas, se han incrustado [Figura 9v] elementos ajenos como cañerías o cables, posiblemente como parte de adaptaciones funcionales recientes. Estas acciones, aunque a veces necesarias para el uso contemporáneo del edificio, comprometen la conservación del patrimonio, ya que introducen tensiones mecánicas y puntos de entrada para agentes de deterioro (Brandi 1963).

De otro lado, el cuadro patológico recurrente permite delimitar estados de conservación de los casos de estudio en tres niveles o estados de deterioro: malo, regular y bueno.

- a) Fachadas con 90 % a 100 % de área afectada y un estado de conservación malo (81%–100 %). Presentan lesiones activas y extensas como humedad, erosión o alveolización. Nivel de vulnerabilidad alto según Art-Risk 3, requieren intervención urgente y definiría un mal estado de conservación.
- b) Fachadas con 30 % y 89 % de área afectada y un estado de conservación ligero (40 %–80 %). Se observan patologías en evolución como *pitting* o fisuras. Nivel de vulnerabilidad media según Art-Risk 3, exige acciones preventivas y seguimiento técnico. Definiría un estado de conservación regular.

- c) Fachadas con menos del 30 % de superficie afectada y un estado de conservación bueno (hasta 39 %). Lesiones puntuales como pátina o decoloración. Nivel de vulnerabilidad bajo según Art-Risk 3, basta con mantenimiento y monitoreo periódico. Definiría un estado de conservación bueno.

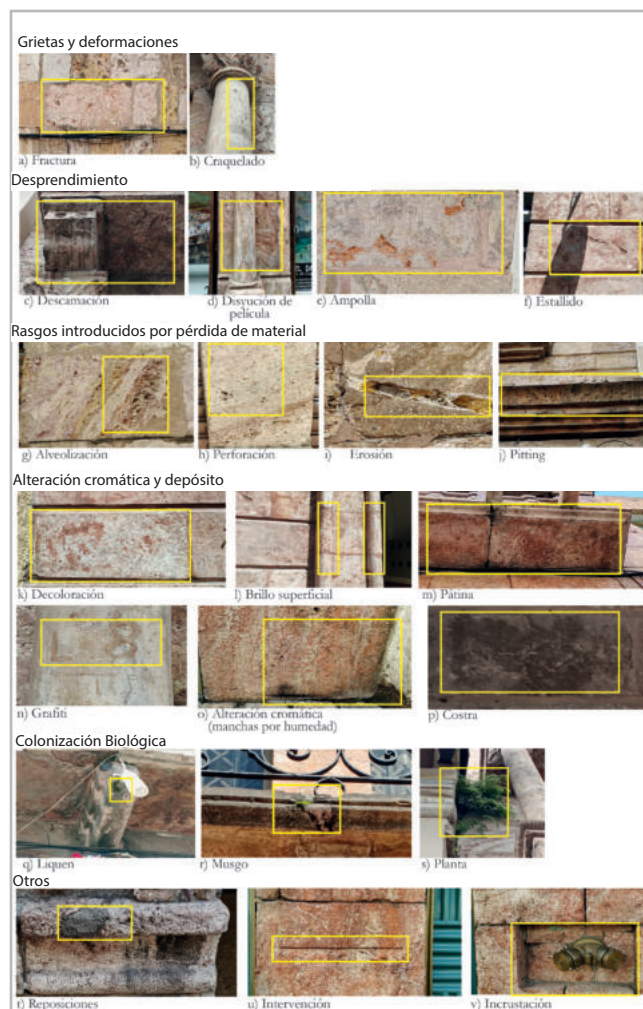


Figura 9.- Distribución de lesiones por categoría y tipo. Elaboración: Autores.

A detalle, el nivel de daño asociado al estado de conservación malo agrupa tres fachadas [Figura 6, casos c, d y e]; el nivel de daño asociado al estado de conservación regular también comprende tres fachadas [Figura 6, casos b, h e i] y, el nivel de daño asociado al estado de conservación bueno abarca cuatro fachadas [Figura 6, casos a, f, g y j]. Cada nivel refleja un estado de conservación diferenciado, que puede ilustrarse con casos representativos en función del tipo, distribución y progresión de las lesiones identificadas (Aguirre Ullauri *et al.* 2024; Paredes & Achig 2019). Esta aproximación permite comprender con mayor precisión el comportamiento del travertino frente a factores como la orientación de la fachada, la exposición al clima local, el nivel de tráfico urbano y las intervenciones previas (Aguirre Ullauri *et al.* 2022). Así, se consolida una base técnica para definir estrategias diferenciadas de conservación, priorizando los niveles de riesgo y deterioro evidenciados en cada caso (Garrido 2017).

De tal forma, se determinó que el caso de estudio [Figura 6c] cuyo estado de conservación es malo y presenta un 13,02 % de superficie comprometida, con lesiones generalizadas como humedad persistente, erosión activa, alveolización y pátina, lo que refleja alta vulnerabilidad [Figura 10] (Aguirre Ullauri *et al.* 2024). El caso de estudio [Figura 6h], con un estado de conservación regular evidencia un 9,43 % de afectación, caracterizado por patología superficial en evolución, como alteración cromática, *pitting* y ampollas, las mismas que requieren intervención preventiva y seguimiento técnico especializado (Aguirre Ullauri *et al.* 2020) [Figura 11]. En contraste, el caso de estudio [Figura 6a] clasificado con escaso deterioro o buen estado, presenta un 6,26 % de superficie afectada, conformado por lesiones menores como decoloración, pátina y alveolización (Paredes & Achig 2019) [Figura 12]. A detalle:

• **a) Estado de conservación malo:** este caso ilustrativo corresponde al edificio [Figura 6c] una fachada con una superficie total de 240,05 m², se identificó un estado de conservación malo en un 13,02 % del área afectada. Las lesiones se distribuyen de manera puntual [Figura 10], es decir, en elementos arquitectónicos o bloques únicos de travertino. Predominan las alteraciones cromáticas, que alcanzan un 6,45 % debido a la exposición prolongada a la radiación solar generando un cambio en el tono superficial del travertino (Romero *et al.* 2022). Esta afección, aunque no compromete la resistencia del material, altera su apariencia y refleja procesos de envejecimiento que pueden advertir efectos asociados al cambio climático (Ortiz & Ortiz 2016).

También se evidencia erosión, con un 1,94 % del área; está generada por el desgaste progresivo del material debido a la acción combinada del viento, la lluvia y los contaminantes urbanos (Ortiz *et al.* 2014). Esta lesión aparece en elementos expuestos en primer plano por su configuración como cornisas, alféizares o zócalos, donde el lavado por efecto de la lluvia es intenso (Piedra 2008). La alveolización, presente en el 1,25 %, revela un proceso de deterioro localizado que se vincula a la porosidad del travertino para favorecer la formación de pequeñas cavidades irregulares, producto de los ciclos de humedad y secado (Aguirre Ullauri *et al.* 2024). El grafiti afecta al 1,44 % de la superficie y se concentra en la planta baja, como consecuencia de la accesibilidad desde el espacio público. Esta lesión no solo implica un daño estético, sino que representa un problema urbano asociado a la falta de control y vigilancia sobre el patrimonio edificado (Cabrera 2015). Además, la presencia de pátina en un 1,15 % de la fachada sugiere acumulación de partículas contaminantes, resultado de la exposición prolongada al ambiente urbano y al tráfico vehicular (Ullauri & Solano 2023).

Otras lesiones de menor incidencia son las perforaciones o profundizaciones puntuales (0,40 %) derivadas de la evolución del alveolado (Aguirre Ullauri *et al.* 2024), así como el *pitting* (0,10 %), producto de agentes químicos agresivos presentes en la atmósfera (Romero *et al.* 2022). También se registran reposiciones mal integradas (0,07 %), que muestran diferencias visuales y posibles incompatibilidades materiales; fracturas (0,20 %), asociadas a tensiones estructurales o impactos físicos (Lema & Zhumi 2023) y crecimiento de musgo (0,02 %) producto de la humedad en micro fisuras y juntas expuestas.

En conjunto, este caso refleja un daño severo con lesiones que afectan a la edificación y su estética. Sin embargo, estas afecciones no comprometen directamente la estructura ni la estabilidad del inmueble en esta etapa. Más bien, impactan la protección superficial del revestimiento, facilitando la penetración de humedad y agentes contaminantes. Esta situación puede derivar en una degradación progresiva que, si no se controla, terminará afectando la integridad del material y la estabilidad local. Por este motivo es fundamental implementar medidas de mantenimiento periódico, limpieza especializada no abrasiva y monitoreo preventivo para evitar la evolución hacia daños estructurales más graves. El control temprano es clave para conservar la durabilidad y apariencia del patrimonio arquitectónico (Molina 2016).

• **b) Estado de conservación regular:** en este segundo caso representativo corresponde al edificio [Figura 6h] se presenta una fachada con una superficie total de 62,90 m² en donde se identificó que existe un daño de afección de 9,43 % [Figura 11]. Las lesiones se evidencian en forma de alteración cromática, que representa el 6,66 % de la superficie afectada. Esta patología está asociada a la exposición prolongada a contaminantes atmosféricos en un entorno urbano con presencia de tráfico (Molina 2016), sumado a una orientación Este-Oeste que impide una adecuada exposición solar, dificultando la evaporación de la humedad (Sosa 2013), lo cual favorece el oscurecimiento superficial del travertino y la retención de suciedad en su textura irregular y estructura porosa (Molina 2016). Además, se identifican formas activas de deterioro químico, como el *pitting* (1,49%), generado por la acción de sales y contaminantes ácidos presentes en el aire urbano (González & García 2015). La pátina, que afecta al 0,60 % del área, refuerza esta idea al evidenciar acumulaciones de suciedad y partículas contaminantes en diferentes zonas, posiblemente sin limpieza frecuente (Molina, 2016). También se registran pequeñas ampollas en el 0,24 % de la superficie, producto de humedad atrapada en capas internas o de mala ventilación del paramento (Sosa 2013), y reposiciones mal integradas (0,24 %), que reflejan intervenciones previas con materiales poco compatibles con el travertino original (Lema & Zhumi 2023). Otras lesiones incluyen fisuras (0,06 %), grafiti (0,08 %) en la planta baja debido a la accesibilidad, y musgos (0,05 %) en juntas y fractura donde se retiene agua y polvo (Sotomayor 2020).

En esta fachada, aunque la superficie afectada es menor al 10 %, la variedad y distribución de lesiones sugieren una fachada con daño moderado. Por ello, se recomienda una intervención correctiva y preventiva que incluya limpieza, revisión de las juntas superiores, monitoreo de humedad y control de los materiales de reposición.

• **c) Estado de conservación bueno:** en el tercer caso referencial, correspondiente al edificio [Figura 6a] una fachada con una superficie total de 113,81 m² se identificó un nivel de daño ligero, con un 6,26 % de área afectada [Figura 12]. Las lesiones son puntuales y de bajo impacto material, lo que refleja una buena conservación. La alteración cromática, que representa el 3,73 % de la superficie, es la lesión predominante y está vinculada al envejecimiento natural del material, así como a la

exposición moderada al sol, lo cual provoca una pérdida parcial del color original, sin comprometer su resistencia estructural (Romero *et al.* 2022). También se registra alveolización incipiente (0,92 %), provocada por la alternancia de ciclos de humedad y secado, típica en zonas expuestas sin protección estructural (González & García 2015). La pátina cubre un 0,85 % de la fachada y corresponde a la acumulación superficial de suciedad o contaminantes urbanos, aunque en este caso su distribución es leve y localizada, lo que indica un depósito superficial sin riesgo inmediato, pero que esta puede intensificarse si no se realiza su respectiva intervención (Molina 2016). La disyunción de la película superficial (0,43 %) es una señal de desgaste por limpieza agresiva o erosión, que ha reducido la capa natural de protección del material pétreo (Sosa 2013). Otras lesiones identificadas son erosión (0,17 %), grafiti (0,08 %), signos de vegetación (0,04 %) y craquelado (0,03 %). Estas lesiones, presentan una baja incidencia, requieren seguimiento para evitar su avance; en el caso de la vegetación, esta debe ser retirada.

La fachada se encuentra en un entorno de bajo tráfico, lo que ha favorecido su conservación, y solo requiere mantenimiento regular, limpieza no abrasiva y control de humedad en puntos vulnerables como fisuras o juntas.

c) Planteamiento de estrategias de intervención y conservación

En función del diagnóstico técnico realizado sobre las lesiones identificadas en el travertino del CHC, se han definido estrategias de intervención específicas que priorizan la conservación y el respeto por el material original. La Tabla 2 presenta una sistematización detallada de dichas estrategias, organizadas por categorías de lesión, sus causas probables y las soluciones propuestas. Cada acción ha sido formulada tomando como base los principios establecidos en las normas UNE-EN 41810:2017, que promueve la intervención mínima, la compatibilidad de materiales y la actuación sobre las causas del deterioro, y UNE-EN 16853:2018, que enfatiza la evaluación técnica previa, la eficacia, la sostenibilidad y la trazabilidad de las decisiones. De este modo, se garantiza que las intervenciones no solo respondan al estado actual de los elementos pétreos, sino que además respeten su integridad física, estética y patrimonial.

En este contexto, se plantean tanto estrategias individuales, orientadas a tratar lesiones específicas en el material pétreo, como estrategias conjuntas, que integran acciones coordinadas para abordar de forma holística las patologías presentes en el conjunto arquitectónico. Esta doble aproximación es esencial

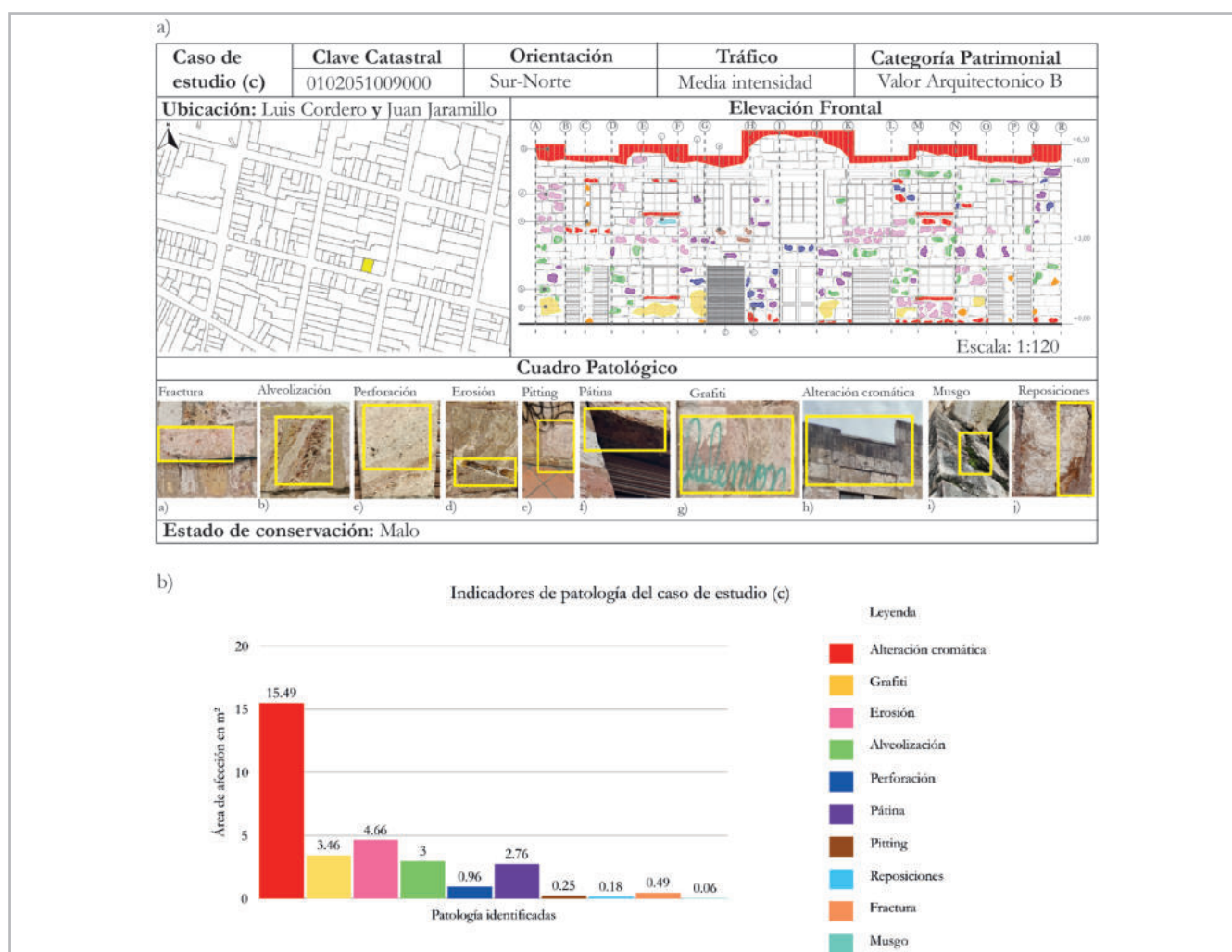


Figura 10.- a) Diagnóstico ilustrado del caso de estudio (c) con estado de conservación malo y b) Distribución de lesiones según área de afectación. Elaboración: Autores

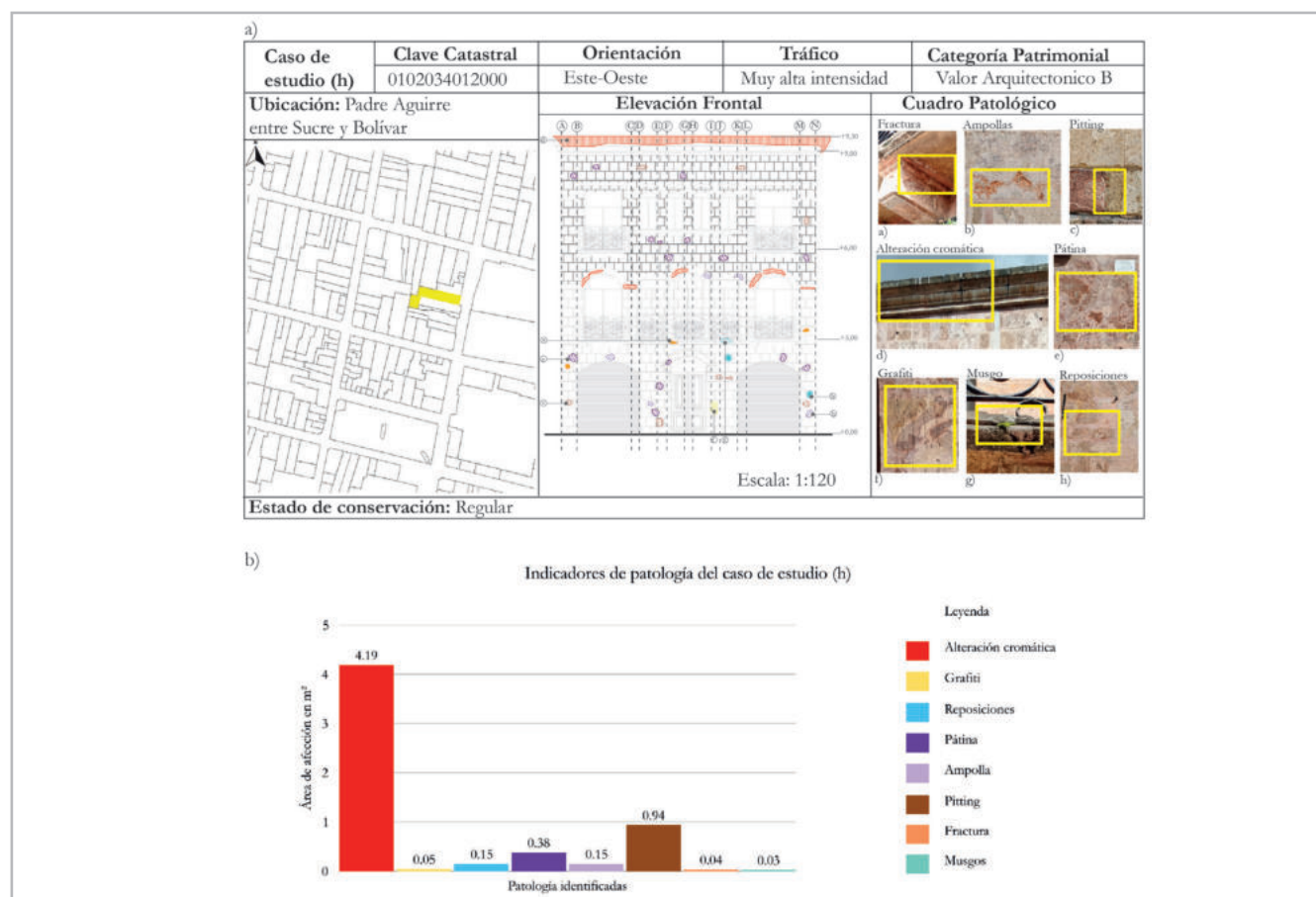


Figura 11.- a) Diagnóstico ilustrado del caso de estudio (h) con estado de conservación regular y b) Distribución de las lesiones según área de afectación. Elaboración: Autores

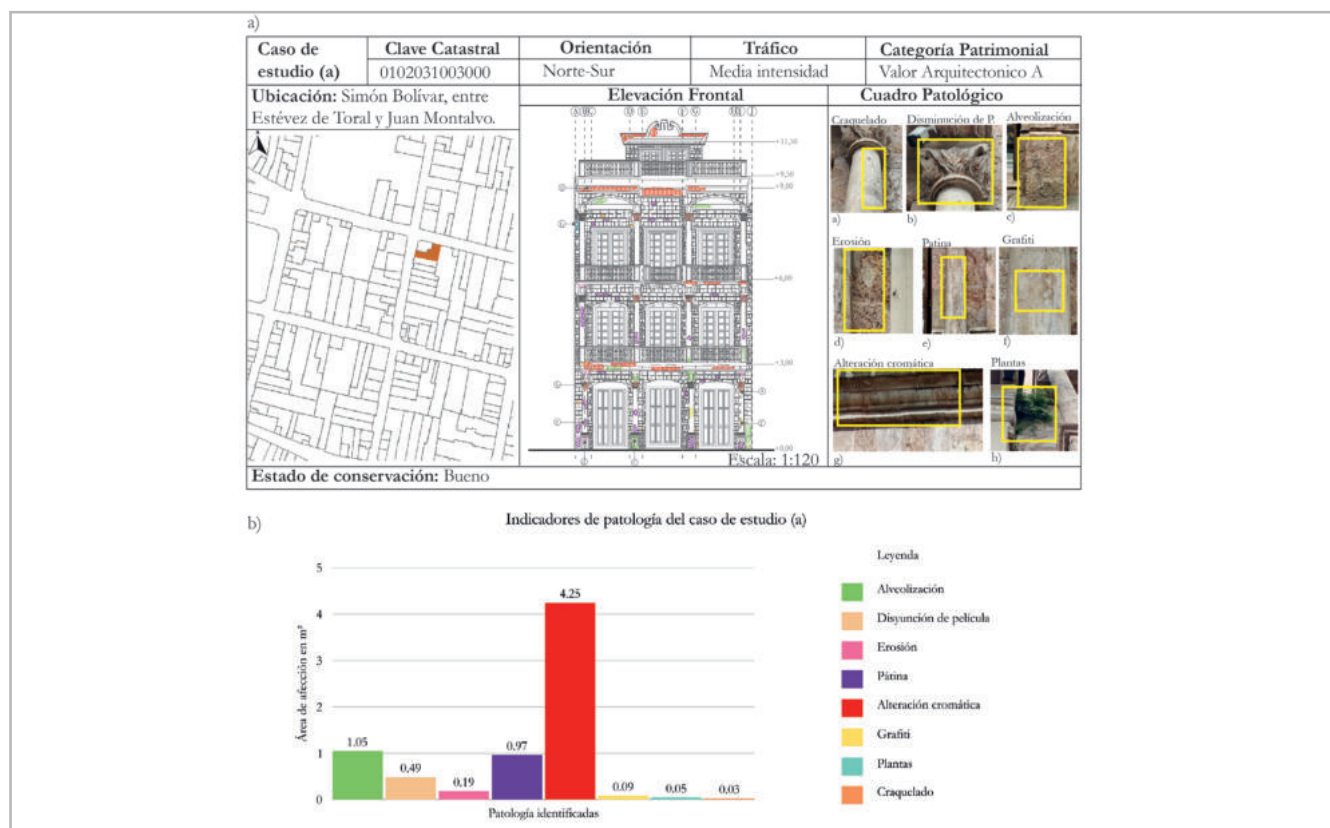


Figura 12.- a) Diagnóstico ilustrado del caso de estudio (c) con estado de conservación malo y b) Distribución de lesiones según área de afectación. Elaboración: Autores.

Categoría	Tipo de lesión	Diagnóstico/ Causa probable	Estrategia de intervención		Criterios técnicos
			Descripción	Tipo	
Grieta y deformación	Fractura	Rotura del tejido pétreo por tensiones estructurales, asentamientos diferenciales y dilataciones térmicas.	Monitoreo con fisurómetros; sellado con mortero de cal aérea con árido de travertino e inyecciones de cal líquida si hay riesgo estructural.	Estrategia conjunta	1, 2, 4
	Craquelado	Fisuración superficial por envejecimiento del material, variaciones higrótérmicas y contaminación urbana.	Limpieza suave; aplicación de consolidante mineral superficial y monitoreo periódico.		2, 3, 4
	Ampolla	Pérdida de adherencia por presión interna causada por humedad acumulada y cristalización de sales.	Remoción mecánica de capa desprendida; secado superficial; consolidación puntual con producto de base mineral compatible.	Estrategia individual	2, 4, 6
	Descamación	Separación de capas por cristalización de sales y acumulación de humedad en presencia de materiales impermeables.	Eliminación manual de fragmentos sueltos; consolidación con silicato mineral; reconstitución de juntas con mortero de cal y árido fino.		2, 6
Desprendimiento	Disyunción de película	Falta de adherencia entre capas de intervenciones anteriores por envejecimiento o incompatibilidad.	Estrategia individual: retiro mecánico cuidadoso; reintegración cromática con veladura de cal pigmentada; monitoreo posterior.		2, 4, 15
	Estallido	Expansión interna por cristalización salina en profundidad que genera presión y desprendimiento violento del material.	Estrategia conjunta: eliminación de fragmentos; estabilización con mortero de inyección a base de cal; protección superficial con tratamiento hidro repelente transpirable.	Estrategia conjunta	1, 2, 6
Rasgos inducidos por pérdida de material	Alveolización	Disolución diferencial de la superficie por acción de agua de escurrimiento y viento, favorecida por exposición oeste	Estrategia conjunta: consolidación superficial; instalación de protecciones físicas temporales; rediseño de drenaje con elementos de piedra natural.		6, 9, 12
	Erosión	Desgaste superficial continuo por acción del agua y contaminación, con disolución de carbonato cálcico.	Estrategia individual: protección de superficies expuestas; aplicación de recubrimiento de sacrificio compatible; educación comunitaria sobre causas antropicas.		3, 9
	Perforación	Daño localizado causado por agentes biológicos o químicos, o por fijaciones metálicas.	Estrategia individual: extracción de elementos ajenos; limpieza manual; relleno con mortero de cal con polvo de travertino.		2, 5
	Pitting	Micro erosión provocada por agua ácida o contaminantes que afectan los poros de la piedra.	Estrategia individual: limpieza con micro abrasivos blandos; consolidación puntual con producto mineral; seguimiento.		3, 5
	Brillo superficial	Acumulación de barnices, ceras o tratamientos anteriores que alteran el aspecto original del travertino.	Estrategia individual: eliminación controlada con disolvente neutro y cepillo suave; aplicación de protección solar compatible si es necesario.	Estrategia individual	3, 4, 10
	Costras	Formación de depósitos endurecidos por contaminación urbana en presencia de humedad persistente.	Estrategia individual: limpieza prolongada con agua desionizada; aplicación localizada de agente quelante en gel; neutralización posterior.		3, 6, 13
Alteración cromática y depósito	Decoloración	Pérdida de color natural por radiación UV o degradación de compuestos minerales superficiales	Estrategia individual: no intervención si es superficial; veladura de cal pigmentada si afecta lectura patrimonial.		3, 10
	Graffiti	Penetración de pigmentos sintéticos en poros abiertos del travertino, producto de vandalismo urbano.	Estrategia individual: eliminación con gel decapante neutro; si persiste, limpieza físico-química controlada; protección final con barrera reversible.		4, 5, 10
	Manchas por humedad	Alteración cromática generada por absorción de humedad y migración de sales desde el interior.	Estrategia conjunta: mejora de ventilación; reparación de juntas con mortero de cal; limpieza superficial con agua desionizada.	Estrategia conjunta	6, 11
	Pátina	Deposición natural de partículas y envejecimiento superficial por exposición ambiental prolongada.	Estrategia individual: no intervención si es estable; limpieza con agua osmotizada si afecta valor patrimonial.		3, 10
Colonización biológica	Liquen	Desarrollo biológico en zonas con sombra, humedad y rugosidad superficial	Estrategia individual: aplicación de biocida específico; remoción manual con herramienta no metálica; seguimiento fotográfico.	Estrategia individual	5, 14
	Musgo	Colonización vegetal por humedad constante, retención de agua en superficies horizontales y falta de ventilación.	Estrategia individual: eliminación manual; aplicación puntual de biocida; mejora de ventilación natural.		5, 6, 14
	Plantas	Presencia de raíces y vegetación invasiva en fisuras estructurales, favorecida por humedad y abandono.	Estrategia conjunta: eliminación manual de raíces; consolidación estructural del soporte; sellado de fisuras con mortero de cal.		1, 6
Otros	Reposiciones	Sustituciones con materiales ajenos (cerámica, cemento) incompatibles con el travertino.	Estrategia conjunta: retiro controlado; sustitución con piezas de travertino local labrado; integración cromática con veladuras de cal.	Estrategia conjunta	2, 8, 15
	Intervención	Instalación de elementos modernos (tuberías, cables) que alteran la lectura formal y física del bien.	Estrategia conjunta: remoción cuidadosa; sellado de perforaciones con mortero compatible; reintegración estética con cal pigmentada.		2, 4, 15
	Incrustación	Introducción de elementos extraños ajenos al sistema constructivo original.	Estrategia individual: extracción mecánica controlada; consolidación superficial; reintegración estética si es necesario.	Estrategia individual	2, 5, 15
1. Estabilidad estructural del soporte. (UNE-EN 41810:2017)					
		2. Compatibilidad física, química y mineralógica de materiales. (UNE-EN 41810:2017 / 16853:2018)	3. Mínima intervención técnica. (UNE-EN 41810:2017)	4. Intervenciones reversibles. (UNE-EN 41810:2017)	5. Tratamientos puntuales y localizados. (UNE-EN 41810:2017)
6. Actuación sobre las causas del deterioro. (UNE-EN 41810:2017 / 16853:2018)					
		7. Capacidad de mantenimiento posterior. (UNE-EN 41810:2017)	8. Evaluación técnica y trazabilidad documental. (UNE-EN 16853:2018)	9. Prevención y sostenibilidad a largo plazo. (UNE-EN 16853:2018)	10. Respeto por la apariencia y envejecimiento del material. (UNE-EN 41810:2017)
11. Control de humedad y drenaje. (UNE-EN 41810:2017)					
		12. Compatibilidad con la porosidad del travertino. (UNE-EN 41810:2017)	13. Secuencia de intervención (de menos a más invasiva). (UNE-EN 16853:2018)	14. Control biológico no agresivo. (UNE-EN 41810:2017)	15. Reintegración estética cromática o volumétrica. (UNE-EN 16853:2018)

Tabla 2.- Propuesta técnica preliminar

para asegurar la eficacia a largo plazo de la conservación, tal como señalan investigadores como Goffredo & Munafò (2015), quienes resaltan la importancia de combinar intervenciones localizadas con medidas integrales en la conservación de materiales pétreos como el travertino.

Conclusiones

Los objetivos planteados en esta investigación fueron alcanzados satisfactoriamente, al lograrse la identificación, documentación y diagnóstico técnico ilustrado de las patologías presentes en diez fachadas patrimoniales revestidas con travertino en el CHC. Los resultados confirman que, el deterioro del travertino está fuertemente condicionado a la sinergia entre factores ambientales como la elevada humedad relativa, la escasa exposición solar y las precipitaciones concentradas y factores antrópicos como la alta presión del tráfico urbano, el uso intensivo del espacio público, así como las intervenciones técnicas inadecuadas, es decir, factores antrópicos. Esta relación directa destaca que en todos los casos presentan alteración cromática, el 90 % mostró pérdida de material y grietas, mientras que el 50 % evidenció desprendimientos y el 40 % intervenciones humanas y colonización biológica.

En cuanto al estado de conservación, se establecieron tres niveles claramente diferenciados, los cuales pueden ser aplicables a otros edificios patrimoniales y materiales históricos. El estado de conservación malo presenta, el 13 % de superficie afectada, evidenciando lesiones generalizadas activas que requieren intervención urgente. También se evidenció el estado de conservación regular, el cual presentó el 9,4 % del área afectada, con patología en evolución que requieren medidas preventivas y seguimiento técnico especializado. Asimismo, el estado de conservación bueno, con afectaciones del 6,2 % del área, y lesiones puntuales, evidencia que estas pueden controlarse con acciones mínimas y mantenimiento periódico. Esta clasificación aporta un enfoque claro para priorizar acciones y revela el comportamiento diferencial del travertino según su diseño arquitectónico, exposición y uso. Además, permite interpretar de forma contextualizada cómo la patología afecta no solo la materia, sino también al valor simbólico, histórico y estético de los inmuebles patrimoniales, ampliando el marco teórico vigente sobre la conservación de materiales pétreos en entornos urbanos ecuatorianos, de manera particular. Es decir, las alteraciones como el grafiti, las incrustaciones no técnicas y la pérdida de material distorsionan la lectura histórica de las fachadas, rompen la autenticidad del lenguaje arquitectónico y debilitan el vínculo cultural entre la comunidad y su patrimonio construido, afectando así su carga simbólica como referente de identidad colectiva y memoria urbana.

Desde el punto de vista académico y profesional, esta investigación representa una contribución significativa. Teóricamente, refuerza la necesidad de estudiar el travertino no solo como un recurso geológico o material de revestimiento, sino como parte del sistema patrimonial urbano, expuesto a condiciones que lo degradan progresivamente. Metodológicamente, introduce una aplicación estructurada de la herramienta Art Risk, integrando la

evaluación de estado de conservación con criterios contextuales, lo cual es replicable en otros asentamientos históricos. Prácticamente, propone estrategias de conservación sustentadas en la intervención mínima, uso de materiales compatibles y trazabilidad técnica, lo cual fortalece las capacidades locales de manejo patrimonial y orienta acciones preventivas desde el ámbito municipal, técnico y comunitario.

A pesar de lo previo, el estudio presenta limitaciones que se corresponde con el alcance planteado, sin embargo, ofrecen múltiples escenarios para desarrollar futuras investigaciones. Por ejemplo, si bien el número de casos analizados es reducido respecto al total del inventario patrimonial del CHC, el contar con el presente trabajo, incluyendo su metodología pormenorizada, es factible ampliar al universo de casos a otros edificios que usan travertino local en su fachada, incluso fuera del CHC. Además, con esta base es factible plantear un plan integral de caracterización del travertino en función de la problemática detectada, así como proyectar un posible proceso de monitoreo en tiempo real de aquellos cuadros patológicos críticos. Como queda en evidencia, las limitaciones se proyectan hacia el quehacer académico y profesional amplio cuyo abordaje no puede ceñirse a aportaciones autónomas, por el contrario, suponen esfuerzos conjuntos capaces de fortalecer el conocimiento técnico, avanzar en la formulación de normativas adaptadas al contexto local y consolidar una política de conservación preventiva sostenible para el patrimonio arquitectónico del CHC.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Católica de Cuenca por la formación académica brindada, la cual ha sido fundamental para el desarrollo y ejecución de esta investigación. Reconocemos el valor de este acompañamiento institucional que ha fortalecido nuestro compromiso con la excelencia profesional.

Bibliografía

- ALONSO, F. J., ESBERT, R. M., ORDAZ, J., & VÁZQUEZ, P. (2006). Análisis del deterioro en los materiales pétreos de edificación = Analysis of Stone Material Damages in Buildings. Revista electrónica ReCoPar, 3: 23–32. <https://polired.upm.es/index.php/recopar/article/view/2131>
- ACHIG BALAREZO, M. C., ZÚÑIGA LÓPEZ, M., BALEN, K. V., & ABAD RODAS, M. L. (2013). Sistema de registro de daños para determinar el estado constructivo en muros de adobe. *Maskana*, 4 (2): 71–84. <https://doi.org/10.18537/mskn.04.02.06>
- ACHIG BALAREZO, M., ZÚÑIGA, M., GARCÍA, G., AGUIRRE, A., GALÁN, N. BARSALLO, G. & BRIONES, J. (2016). "Atlas de Daños. Edificaciones Patrimoniales de Cuenca". Proyecto vlirCPM. Universidad de Cuenca. <https://vlircpm.ucuenca.edu.ec/publicaciones/atlas-de-danos-edificaciones-patrimoniales-de-cuenca/>
- AGUIRRE ULLAURI, M. DEL C. (2021). *Materiales históricos, lectura histórico constructiva y caracterización. El caso de Cuenca* (Ecuador). https://oa.upm.es/69331/1/MARIA_DEL_CISNE_AGUIRRE_ULLAURI.pdf

- AGUIRRE ULLAURI, M. DEL C., CABRERA MEJÍA, J. B., GUERRERO GRANDA, C. E., & LÓPEZ SUSCAL, M. (2024). Incidencia de factores ambientales en fachadas de travertino de edificios patrimoniales del centro histórico de Cuenca-Ecuador. Un escenario de prueba mediante el Procesamiento Digital de Imágenes. *Ge-Conservación*, 25(1): 80–95. <https://doi.org/10.37558/gec.v25i1.1293>
- AGUIRRE ULLAURI, M. DEL C., CASTILLO CARCHIPULLA, E. M., & LÓPEZ LEÓN, D. M. (2020). Diagnóstico de materiales y lesiones en las fachadas del centro histórico de Cuenca (Ecuador). *Ge-Conservación*, 17(1): 47-63. <https://doi.org/10.37558/gec.v17i1.682>
- AGUIRRE ULLAURI, M. DEL C., CORTÉS AGUIRRE, A. A., & ZAMORA CEDEÑO, G. M. (2020). Estratigrafía constructiva y lesiones patológicas. Diacronía y coexistencia de materiales en la arquitectura del centro histórico de Cuenca (Ecuador). *Arqueología de la Arquitectura*, (17), e093. <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2020.002>
- AGUIRRE ULLAURI, M. DEL C., LÓPEZ SUSCAL, M., MORENO FALCÓN, M., ORTIZ, R. & ORTIZ, P. (2024a). *Modelos ART-RISK 1 y ART-RISK 3: propuesta de implementación en el caso de Cuenca, Ecuador*. En Garzón-Vera, B (coord.). *Uso de tecnologías para la gestión y preservación de bienes patrimoniales*. 120-145. <https://doi.org/10.17163/abyaups.78.570>
- ALONSO, F. J., ESBERT, R. M., ORDAZ, J., & VÁZQUEZ, P. (2006). *Análisis del deterioro en los materiales pétreos de edificación*= Analysis of Stone Material Damages in Buildings. <https://polired.upm.es/index.php/recopar/article/view/2131/2209>
- ALONSO, F., ORDAZ, J., & ESBERT, R. (2014). *Indicadores del deterioro en los materiales pétreos de edificación. Clasificación y análisis de los daños*. https://www.researchgate.net/publication/260652114_Indicadores_del_deterioro_en_los_materiales_petros_de_edificacion_Clasificacion_y_analisis_de_los_danos
- ARNOLD, A., & ZEHNDER, K. (1991). *Monitoring wall paintings affected by soluble salts*. En S. Cather (Ed.), *The Conservation of Wall Paintings: Proceedings of a Symposium organized by the Courtauld Institute of Art and the Getty Conservation Institute*, London, July 13–16, 1987 (103–135). Getty Conservation Institute. https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/monitoring.pdf
- ARENCIBIA, S., PÉREZ, L., & CUÉTARA P. (2020). *Clasificación del deterioro de fachadas de piedra en construcciones coloniales cubanas*. https://www.researchgate.net/publication/343418926_Clasificacion_del_deterioro_de_fachadas_de_piedra_en_construcciones_coloniales_cubanas
- ARCOM, COORDINACIÓN GENERAL DE EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN MINERA (2016). *Plan Nacional de Desarrollo del Sector Minero*. Quito. <https://www.arcom.gob.ec/recursos-geologicos-y-mineros-del-ecuador.html>
- AVILÉS, J., & BARZALLO, B. (2016). *Caracterización de suelos del centro histórico de la ciudad de Cuenca mediante métodos geofísicos*. Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/24201>
- BORRERO, A (2018). *América Latina: Espacios urbanos, arquitectónicos y visualidades en transición. 1860- 1940*. 243- 274 https://www.researchgate.net/publication/332138468_Transformaciones_y_modernizacion_en_Cuenca_1920_-_1950
- BUSTAMANTE, A. (2021). Caracterización del viento y la temperatura aparente en los cañones urbanos del centro histórico de Cuenca, Ecuador. *Conservar Patrimonio*, 36: 90–105. <https://doi.org/10.14568/cp2019034>
- CABRERA GARCÍA, M. S. (2015). *Urbanismo y arte no convencional: el grafiti en Cuenca-Ecuador* (Tesis de Maestría). Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/22861>
- CAMUFFO, D. (2014). "Microclimate for Cultural Heritage: Conservation and Restoration of Indoor and Outdoor Monuments" (2.ª ed.). Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/book/9780444563750/microclimate-for-cultural-heritage>
- CORREA, M (2023). Biodeterioro de materiales: estudio de casos para su abordaje. <https://revistas.unlp.edu.ar/InvJov/article/view/15175>
- CORNEJO, P. I. (2016). *Depósitos Minerales No Metálicos del Ecuador*. Escuela Politécnica Nacional - Ingeniería Geológica - Geología del Ecuador. Quito, Ecuador. <https://www.researchgate.net/publication/317613312>
- CHAFETZ, H. S., & FOLK, R. L. (1984). Travertines: depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *Journal of Sedimentary Research*, 54(1): 289-316. <https://doi.org/10.1306/212F8407-2B24-11D7-8648000102C1865D>
- DEMIRFAG, S. (2013). Effects of freezing–thawing and thermal shock cycles on physical and mechanical properties of filled and unfilled travertines. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.045>
- ESPINOZA, M., & ABAD, P. (2003). La Cité Cuencana: el afrancesamiento de Cuenca en la época republicana 1860-1940. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5992>
- FASSINA, V. (1996). Atmospheric pollutants responsible for stone decay: wet and dry surface deposition on stone and the formation of black scabs. En *Proceedings, International Symposium on Environmental/Climate Effects on Building Materials*, Rome (pp. xx–xx). UNESCO. https://www.academia.edu/42872086/125_Atmospheric_pollutants_responsible_for_stone_decay_in_monuments
- FASSINA, V. (1998). "Stone decay and conservation: Atmospheric pollution, cleaning, consolidation and protection". UNESCO Publishing. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000113064>
- FERNÁNDEZ, N., SÁNCHEZ, R., & CASTELLÁ, B. (2023). *Metodología de diagnóstico y levantamiento para la conservación de edificios históricos*. PNUD. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2023-12/metodologia_conservacion_edificios_historicos-resiliencia_urbana_002.pdf
- GARCÍA, L., & GUERRERO, L. (2023). *Acciones de conservación sostenible para el sitio arqueológico de Ingapirca*, Ecuador. https://www.researchgate.net/publication/381306828_Acciones_de_conservacion_sostenible_para_el_sitio_arqueologico_de_Ingapirca_Ecuador
- GARCÍA DEL CURA, M.Á., BENAVENTE, D., MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, J., & CUETO, N. (2012). Estructuras sedimentarias y propiedades físicas en piedra de construcción de travertino y toba carbonatada. *Construcción y Materiales de Construcción*, 28, 456-467. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.042>

GARRIDO, X. Y. (2017). *Plan de conservación y mantenimiento preventivo de las ornamentaciones de las fachadas de las casas del centro histórico de Cuenca de los siglos XIX-XX* [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28120>

GOFFREDO, G. B., & MUNAFÒ, P. (2015). Preservation of historical stone surfaces by TiO₂ nanocoatings. *Heritage Science*, 3(1): 1-12. https://www.researchgate.net/publication/307698220_Preservation_of_Historical_Stone_Surfaces_by_TiO2_Nanocoatings

GÓMEZ-VILLALBA, LS, FORT, R., & ÁLVAREZ DE BUERGO, M. (2020). Conservación del travertino en patrimonio arquitectónico. *Revista de Obras Públicas*, 167 (3621): 24-31. https://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2020/2020_ROP_3621_04.pdf

GÓMEZ, F. J., & LARA, M. (2020). Indicadores del deterioro en los materiales pétreos de edificación: clasificación y análisis de los daños. https://www.researchgate.net/publication/260652114_Indicadores_del_deterioro_en_los_materiales_petros_de_edificacion_Clasicacion_y_analisis_de_los_danos

GONZÁLEZ, J., & GARCÍA, M. (2015). Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y medidas de control. *Tecnología en Marcha*, 28(3), 127-137. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v28n3/0379-3982-tem-28-03-00127.pdf>

ICOMOS (2004). Glosario ilustrado de formas de deterioro de la piedra. https://openarchive.icomos.org/id/eprint/2089/1/spanish_glossary.pdf

ICOMOS-ISCs (2008). Illustrated glossary on stone deterioration patterns (V. Vergès Belmin, Ed.) [Monuments and Sites, Vol. XV]. ICOMOS International Scientific Committee on Stone. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000183556>

ICOMOS (2011). *Lineamientos para las evaluaciones de impacto en el patrimonio relativas a los bienes del Patrimonio Mundial cultura*. https://www.iccom.org/sites/default/files/2020-02/2011_icomos_heritage_impact_assessment-guidelines_esp.pdf

INER & SYR Geociencia S.A. (2014). *Evaluación preliminar del Sistema Geotermal de Baños Cuenca. Informe Técnico*. https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/02/informe_final_compilado_140519.pdf

JARA, M. & ALMEIDA, E. (2019). La necrópolis prehispánica de La Florida en Quito, Ecuador: nuevas interpretaciones sobre su contexto cultural. *Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos*, 48 (2): 75-94. <https://doi.org/10.4000/bifea.3931>

JIMÉNEZ, C., CABRERA, E., SÁNCHEZ, D., & AVILÉS, F. (2018). Vulnerabilidad sísmica del patrimonio edificado del Centro Histórico de la ciudad de Cuenca: lineamientos generales y avances del proyecto. *Maskana*, 9(1): 59-78. <https://doi.org/10.18537/mskn.09.01.07>

JIMÉNEZ, H., SÁNCHEZ, R., & ROBLES, J. (2023). El tecali, un tipo de travertino: petrografía y uso arqueológico. *Arqueología*, 29: 85-99. <https://doi.org/10.1016/j.arqueologia.2023.02.004>

JIMÉNEZ, R. (2013). Diagnóstico Ambiental de la actividad minera de

materiales pétreos en las canteras del sector de CALDERÓN, provincia de PICHINCHA. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6169>

KARACA, Z. (2010). Water absorption and dehydration of natural stones versus time. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.029>

KAMISLIOGLU, M., KOCAK, I., BUYUK, B. et al. (2024). Investigation of natural and artificial radioactivity levels in travertines of the Cappadocia region in Turkey. *Environ Geochem Health*, 46, 181. <https://doi.org/10.1007/s10653-024-01963-y>

LARA CALDERÓN, M. L., SANZ ARAUZ, D. & DEL PINO MARTÍNEZ, I. (2020). Morteros históricos en las construcciones de Quito de los siglos XVI, XVII y XVIII. *Ge-Conservación*, 17(1): 71-81. <https://doi.org/10.37558/gecv17i1.687>

LEMA, M. J., & ZHUMI, L. S. (2023). REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES PATRIMONIALES. Caso de estudio edificación en el centro histórico de Cuenca. Universidad Católica de Cuenca. <https://repositorio.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/12345>

LEMA LEMA, M. J., & ZHUMI, L. S. (2023). Rehabilitación estructural de edificaciones patrimoniales. Caso de estudio edificación en el centro histórico de Cuenca. Universidad Católica de Cuenca. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/16338DspaceUCACUE+1DspaceUCACUE+1>

LÓPEZ, J., & RAMÍREZ, P. (2022). Fotogrametría para la conservación-restauración de bienes culturales. https://www.academia.edu/38987034/Fotogrametr%C3%ADa_para_la_conservaci%C3%B3n_restauraci%C3%B3n_de_bienes_culturales

LUGO, J. (1989). Diccionario geomorfológico. <https://www.cervantesvirtual.com/research/diccionario-geomorfolgico-1223907/94e0434a58c1-4a31-be64-341c1dcef1be.pdf>

MEJÍA, A., & ORTEGA, G. (2019). Grafiti ¿Arte que resalta o denigra los monumentos arquitectónicos y la ciudad? <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7144115>

MÉNDEZ, R., PÉREZ, L., & TORRES, S. (2021). Escaneado en 3D y prototipado de piezas arqueológicas: Las nuevas tecnologías en el registro, conservación y difusión del patrimonio arqueológico. https://www.academia.edu/1376595/Escaneado_en_3D_y_prototipado_de_piezas_arqueol%C3%B3gicas_las_nuevas_tecnolog%C3%ADas_en_el_registro_conservaci%C3%B3n_y_difusi%C3%B3n_del_Patrimonio_Arqueol%C3%B3gico

MINISTERIO DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES. (2021). Depósitos minerales no metálicos del Ecuador. Quito, Ecuador. <https://www.recursoyenergia.gob.ec/recursos-geologicos-y-mineros-del-ecuador/>

MOLINA PIERNAS, E. (2016). Influencia del sistema poroso y del acabado superficial en la durabilidad de areniscas y travertino explotados en Andalucía y utilizados en construcción (Tesis doctoral). Universidad de Granada. <http://hdl.handle.net/10481/40320>

MORENO, M., ORTIZ, R., CAGIGAS-MUÑOZ, D., BECERRA, J., MARTIN, J. M., PRIETO, A. J. & ORTIZ, P. (2022). ART-RISK 3.0 a fuzzy-based platform that combine GIS and expert assessments for conservation strategies in cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 55: 263-276. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.03.012>

- MORENO, M., PRIETO, A. J., ORTIZ, R., CAGIGAS-MUÑOZ, D., BECERRA, J., GARRIDO-VIZUETE, M. D. L. A., SEGURA, D., MACÍAS-BERNAL, J. M., CHÁVEZ, M. J. & ORTIZ, P. (2023). Preventive conservation and restoration monitoring of heritage buildings based on fuzzy logic. *International Journal of Architectural Heritage*, 17(7), 1153-1170. <https://doi.org/10.1080/15583058.2021.2018520>
- ORTIZ, R., & ORTIZ, P. (2016). Vulnerability index: A new approach for preventive conservation of monuments. *International Journal of Architectural Heritage*, 10(8), 1078-1100. <https://doi.org/10.1080/15583058.2016.1186758>
- ORTIZ, P., ANTÚNEZ, V., MARTÍN, J. M., ORTIZ, R., VÁZQUEZ, M. A., & GALÁN, E. (2014). Approach to environmental risk analysis for the main monuments in a historical city. *Journal of Cultural Heritage*, 15(4), 432-440. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2013.07.009>
- ORTIZ, R. (2014). *Análisis de vulnerabilidad y riesgos en edificios singulares de Sevilla* (Tesis doctoral, Universidad Pablo de Olavide). <https://investiga.upo.es/documentos/5eb2893629995203e24107a5>
- ORTIZ, R. & ORTIZ, P. (2016). Vulnerability index: A new approach for preventive conservation of monuments. *International Journal of Architectural Heritage*, 10(8): 1078-1100. <https://doi.org/10.1080/15583058.2016.1186758>
- ORTIZ CALDERÓN, R., ORTIZ, P., VÁZQUEZ, M. A. & MARTÍN, J. M. (2017). Integration of georeferenced informed system and digital image analysis to assess the effect of cars pollution on historical buildings. *Construction and Building Materials*, 139: 320-333. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.030>
- ÖZKUL, M., KELE, S., & ALTUNEL, E. (2014). Geological and environmental conditions affecting travertine in Denizli, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 71(1): 377-393. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2453-5>
- PUCAR, J. (1995). La marmolería en Cuenca y su área de influencia. [Trabajo de titulación de pregrado, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/14981>
- PIEDRALANDÍVAR, C. (2008). Soluciones a daños en edificaciones patrimoniales construidas con tecnologías tradicionales (Tesis de Maestría). Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/16744>
- RESCIC, S., FRATINI, F., CUZMAN, OANA & SACCHI, B. (2024). Uso histórico del travertino en la arquitectura toscana (Italia). *Patrimonio*, 7 (1): 338-365. <https://doi.org/10.3390/heritage7010017>
- RODRÍGUEZ NAVARRO, C., JIMÉNEZ LÓPEZ, C., & SCHERER, G.W. (2003). Conservation of ornamental stone by *Myxococcus xanthus*-induced carbonate biomineralization. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(4): 2182-2193. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.4.2182-2193.2003>
- RODRÍGUEZ, A., PÉREZ, L., & GÓMEZ, C. (2019). Evaluación del deterioro del travertino en edificios históricos. *Materiales de Construcción*, 69 (334): e187. <https://doi.org/10.3989/mc.2019.08718>
- RODRÍGUEZ, A. E. C., TABÁRES, L. H., ABREU, I. O., NÁPOLES, D. R., & VAN ESPEN, P. (2021). Incidencia de factores ambientales en fachadas de travertino de edificios patrimoniales en el centro histórico de Cuenca-Ecuador: un escenario de prueba mediante el procesamiento digital de imágenes. *Geconservación*, (25): 80-95. <https://doi.org/10.37558/gec.v25i1.932>
- RODRÍGUEZ, C., PÉREZ, M., & GARCÍA, J. (2021). Efectos de la contaminación atmosférica en la alteración de materiales pétreos patrimoniales. *Revista Internacional de Conservación del Patrimonio*, 17(2): 85-102. <https://doi.org/10.1234/ricp.v17i2.4567>
- ROMERO BASTIDAS, M., AGUIRRE ULLAURI, M. DEL C., RAMÍREZ BUSTAMANTE, J., VARGAS VALLEJO, M., & CASTILLO CARCHIPULLA, E. (2022). The quantification of physico-mechanical properties and durability of onyx-travertines from Santa Ana de los Ríos de Cuenca, Ecuador. *Heritage Science*, 10, Article 194. <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00826-yNature>
- ROMERO BASTIDAS, M., AGUIRRE ULLAURI, M., RAMÍREZ, J. VARGAS, M., & CASTILLO, E. (2022). The quantification of physico-mechanical properties and durability of onyx-travertines from Santa Ana de los Ríos de Cuenca, Ecuador. <https://www.nature.com/articles/s40494-022-00826-y>
- RUÍZ, R., ALONSO, E., MORALES, A., MARTÍNEZ, W., CHÁVEZ, H., ARREOLA, M., BORREGO, J., NAVARRETE, M., & VELAZQUEZ, J. (2023). Environmental Decay of Ignimbrite Patrimonial Monuments in the Dry, Urban, and Non-Industrial Atmosphere of Morelia (México). <https://www.mdpi.com/2571-9408/6/3/167>
- SÁNCHEZ BONILLA, MI, VIÑA RODRÍGUEZ, FJ, OROPESA HERNÁNDEZ, T., ÁLVAREZ RODRÍGUEZ, JA, PÉREZ JIMÉNEZ, M., SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, A.-J., & CAMPOS DE ARMAS, A. (2022). Travertinos en formación. Aplicaciones creativas, sostenibles y saludables del aragonito depositado por aguas provenientes de galerías-minas. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/anales/article/view/4430>
- SÁNCHEZ, R., & ROBLES, J. (2022). Análisis del deterioro en los materiales pétreos de edificación. *Revista de Conservación del Patrimonio*, 15(2), 45-59. <https://doi.org/10.1016/j.rcp.2022.05.008>
- SOSA, M. E. (2013). Impacto energético de estrategias arquitectónicas en fachadas de oficinas en clima cálido húmedo. Casos: orientación-proporción cerramientos translúcidos/opacos (Tesis de maestría). Universidad Central de Venezuela. <https://saber.ucv.ve/bitstream/10872/18425/1/2013%20Maria%20Eugenia%20Sosa%20G..pdf>
- SOTOMAYOR, C. (2020). Entendiendo a las fisuras y grietas en las estructuras de concreto. Consultcreto. <https://consultcreto.com/wp-content/uploads/2024/12/ENTENDIENDO-A-LAS-FISURAS-Y-GRIETAS-EN-LAS-ESTRUCTURAS-DE-CONCRETO.pdf>
- TAVARES, M., MAGALHAES, A., VEIGA, R., & AGUIAR, J. (2021). Métodos de diagnóstico para revestimientos de edificios antiguos. *Journal of Architectural Conservation*, 27(3): 123-139. <https://doi.org/10.1080/13556207.2021.1890123>
- UNESCO. (1972). Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural. <https://whc.unesco.org/archive/convention-es.pdf>
- UNESCO. (2023). Periodic Reporting of Historic Centre of Santa Ana de los Ríos de Cuenca. World Heritage Convention. <https://whc.unesco.org/en/list/863/documents/>
- UNE-EN 41805-10 IN:2009. Diagnóstico de edificios. Parte 10: Estudio patológico del edificio. Fachadas no estructurales. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0044406>

UNE-EN 15898:2011. Conservación del patrimonio cultural. Principales términos generales y definiciones. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0049099>

UNE-EN 16096:2016. Conservación del patrimonio cultural. Inspección del estado e informe del patrimonio cultural construido. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0056786>

UNE-EN 41810: 2017. Conservación del patrimonio cultural. Criterios de intervención en materiales pétreos. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0057969>

UNE-EN 16853:2018. Conservación del patrimonio cultural. Proceso de conservación. Toma de decisiones, planificación e implementación. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0060734>

ULLAURI VÁSQUEZ, C. M., & SOLANO PELÁEZ, J. L. (2023). Análisis de conservación de la envolvente en viviendas del Centro Histórico de Cuenca, en base a tecnología fotocatalítica. *ConcienciaDigital*, 6(1), 45–60. <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/ConcienciaDigital/article/view/1631>

UROSEVIC, M., PARDO, E., CARDELL, C. (2010). Rough and polished travertine building stone decay evaluated by a marine aerosol ageing test. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.01.011>

VALVERDE, J., VARGAS, C., ACHAHUI, C., & RODRIGUEZ, D. (2021). Inhibición del crecimiento de líquenes y musgos en elementos líticos usados en la construcción de fachadas de iglesias patrimoniales cusqueñas aplicando nanoburbujas de aire. *Ge-Conservación*, 19(1): 20-30. <https://doi.org/10.37558/gec.v19i1.812>

VENIELE, F., SETTI, M., LODOLA, S. (2008). Diagnóstico del deterioro de la piedra en el patrimonio construido. Datos y perspectivas. https://www.researchgate.net/publication/250311593_Diagnostico_del_deterioro_de_la_piedra_en_el_patrimonio_construido_Datos_y_perspectivas

VILLAVICENCIO, D., PATIÑO, L., & VARGAS, M. (2021). Evaluación del deterioro del travertino en fachadas patrimoniales mediante procesamiento digital de imágenes: Caso centro histórico de Cuenca. *Revista Ge-Conservación*, 19: 129-142. <https://doi.org/10.37558/ge-iic.19.1293>

WARSCHEID, T., Y BRAAMS, J. (2000). Biodeterioro de la piedra: una revisión. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 46, 343–368. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(00\)00109-8](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(00)00109-8)

WEATHERSPARK (2025). Clima promedio en Cuenca. https://es.weatherspark.com/y/19348/Clima-promedio-en-Cuenca-Ecuador-durante-todo-ela%C3%B1o#google_vignette:E

YIN, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6th ed.). SAGE Publications. <https://us.sagepub.com/en-us/nam/case-study-research-and-applications/book250150>

Autor/es



Catalina Beatriz Chimborazo Espinoza

catalina.chimborazo.00@est.ucacue.edu.ec

Universidad Católica de Cuenca (UCACUE), Ecuador

<https://orcid.org/0009-0009-6306-2253>

Estudiante de la Universidad Católica de Cuenca. Ha realizado prácticas preprofesionales en el proyecto denominado Plan de Espacios Públicos vías PEP de la Fundación Municipal El Barranco, así como en el proyecto denominado Levantamiento de información dentro del perímetro urbano del cantón Cuenca de la Asociación de Corredores de Bienes Raíces del Azuay – ACBIR, Azuay. También ha participado en el proyecto de Vinculación con la Sociedad denominado Plan integral de asistencia técnica de espacios en los centros educativos de las provincias de Azuay y Cañar de la Coordinación Zonal de Educación Zona 6.



Jenny Fabiola Peralta Viñansaca

jenny.peralta.89@est.ucacue.edu.ec

Universidad Católica de Cuenca (UCACUE), Ecuador

<https://orcid.org/0009-0007-9954-767X>

Estudiante Arquitectura de la Universidad Católica de Cuenca. Ha realizado prácticas preprofesionales en el proyecto denominado Plan de Espacios Públicos vías PEP de la Fundación Municipal El Barranco, así como en el proyecto denominado Levantamiento de información dentro del perímetro urbano del cantón Cuenca de la Asociación de Corredores de Bienes Raíces del Azuay – ACBIR, Azuay. También ha participado en el proyecto de Vinculación con la Sociedad denominado Plan integral de asistencia técnica de espacios en los centros educativos de las provincias de Azuay y Cañar de la Coordinación Zonal de Educación Zona 6.



María del Cisne Aguirre Ullauri

maguirreu@ucacue.edu.ec

Universidad Católica de Cuenca (UCACUE), Ecuador

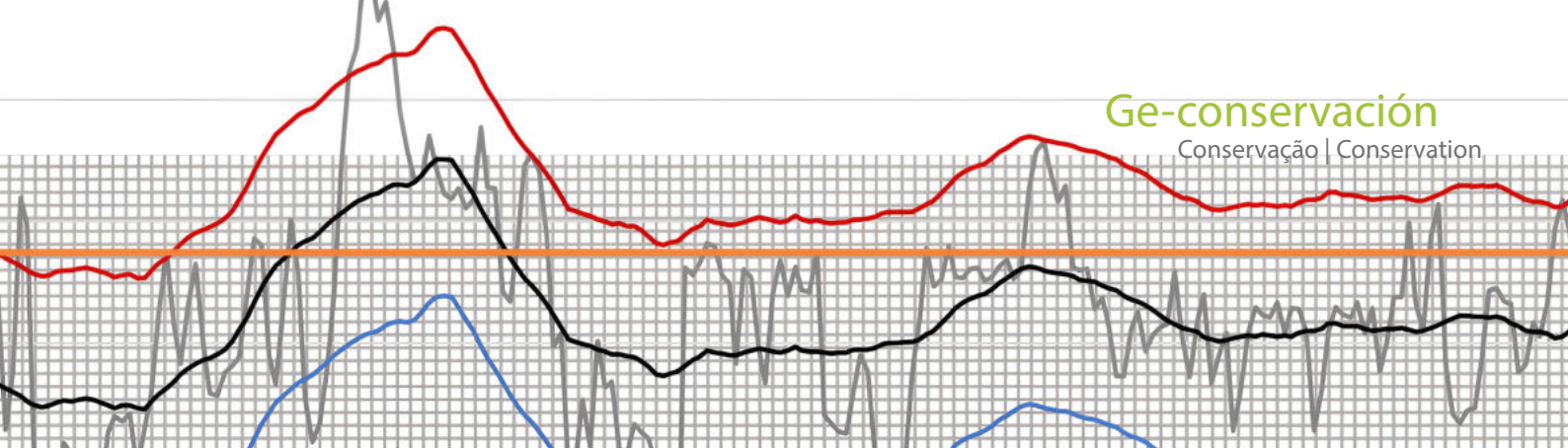
<https://orcid.org/0000-0002-3179-7839>

Arquitecta, Máster Universitario en Conservación y Restauración del Patrimonio Arquitectónico. Doctora en Patrimonio Arquitectónico por la Universidad Politécnica de Madrid (España). Docente Investigadora de la Universidad Católica de Cuenca (Ecuador). Miembro de los Grupo de Investigación CAT –Ciudad, Ambiente y Tecnología- y Ciencia & Diversidad de la Universidad Católica de Cuenca, la Red Ecuatoriana de Mujeres Científicas (REMCI), ICOMOS Internacional, la Red de Patrimonio Histórico + Cultural Iberoamericano (Red PHI) y la Organization for Women in Science for the Developing World (OWSD).

Artículo enviado 12/06/2025
Artículo aceptado el 27/08/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1410>



Análise das condições higrotérmicas de espaços expositivos para a exibição de bens arqueológicos de contextos encharcados e intersticiais. O caso da Sala Polivalente do Centro Nacional de Arqueologia Náutica e Subaquática

João Henrique Marrocano

Resumo: Neste artigo são analisadas as condições higrotérmicas da sala polivalente (SP) do Centro Nacional de Arqueologia Náutica e Subaquática (CNANS), em Lisboa. As instalações do CNANS situam-se nos edifícios dos armazéns da antiga Fábrica de Tabacos, na freguesia do Beato, na zona oriental da cidade (junto ao rio Tejo). O estudo ambiental deste espaço foi realizado em duas campanhas de monitorização, com uma distância de dois meses. Os dados foram tratados pela norma europeia EN 15757:2010 e à luz dos limites ao dano climático dos artefactos provenientes de contextos arqueológicos encharcados e intersticiais, tema inédito em Portugal. Os resultados destes períodos de monitorização são apresentados e discutidos. As conclusões mostram a importância da monitorização das condições ambientais dos espaços com funções museológicas considerando o risco de deterioração e as medidas curativas desta cultura material, no sentido de adaptar e melhorar as condições ambientais da sua exibição.

Palavras-chave: monitorização ambiental, avaliações higrotérmicas, conservação preventiva, arqueologia náutica e subaquática, CNANS

Análisis de las condiciones higrotérmicas de espacios expositivos para la exhibición de bienes arqueológicos procedentes de contextos anegados e intersticiales. El caso de la Sala Polivalente del Centro Nacional de Arqueología Náutica y Subacuática

Resumen: Este artículo analiza las condiciones higrotérmicas de la sala polivalente (SP) del Centro Nacional de Arqueología Náutica y Subacuática (CNANS) de Lisboa. Las instalaciones del CNANS se encuentran en los edificios del depósito de la antigua Fábrica de Tabacos, en la localidad de Beato, en la zona este de la ciudad (junto al río Tago). El estudio ambiental de este espacio se llevó a cabo en dos campañas de monitoreo, con dos meses de intervalo. Los datos se procesaron de acuerdo con la norma europea EN 15757:2010 y a la luz del riesgo de deterioro por condiciones ambientales inadecuadas de los objetos de contextos arqueológicos anegados e intersticiales, un tema sin precedentes en Portugal. Se presentan y discuten los resultados de estos periodos de seguimiento. Las conclusiones muestran la importancia de la monitorización de las condiciones ambientales de los espacios con funciones museísticas considerando el riesgo de deterioro y las medidas curativas de este patrimonio, con el fin de adaptar y mejorar la calidad ambiental de su exposición.

Palabras clave: monitoreo ambiental, evaluaciones higrotérmicas, conservación preventiva, arqueología náutica y subacuática, CNANS

Analysis of the hygrothermal conditions of exhibition spaces for the display of archaeological assets from waterlogged and interstitial contexts. The case of the Multipurpose Room of the Portuguese National Centre for Nautical and Underwater Archaeology

Abstract: This paper analyzes the hygrothermal conditions of the multipurpose room (SP) of the Portuguese National Centre for Nautical and Underwater Archaeology (CNANS), in Lisbon. The CNANS facilities are located in the warehouse buildings of the former Fábrica de Tabacos, Beato area, in the eastern part of the city (next to the Tagus River). The environmental study was carried out in two monitoring campaigns, two months apart. The data was processed by the European standard EN 15757: 2010 and by the limits to climatic damage for artifacts from waterlogged and interstitial archaeological contexts, an unprecedented topic in Portugal. The results of the monitoring periods are presented and discussed. The conclusions show the importance of monitoring the environmental conditions of spaces with museological functions, considering the deteriorative and remedial characteristics of this material culture, in order to adapt and improve the environmental conditions of its exhibition.

Keywords: environmental monitoring, hygrothermal assessments, preventive conservation, nautical and underwater archaeology, CNANS

Introdução

Com transferência do CNANS das anteriores acomodações provisórias no Mercado Abastecedor da Região de Lisboa (MARL), para as atuais instalações no Beato, zona oriental de Lisboa, em 2021, a recapitação ocorrida no reforço de equipamentos e na melhoria de infraestruturas, permitiu dotar o centro de diferentes áreas programáticas de carácter técnico e de investigação, e também de uma SP, traçada com características quer de auditório, quer de espaço expositivo temporário.

O edifício sede do CNANS resulta da reabilitação dos antigos armazéns da Fábrica de Tabaco de Xabregas, construídos nos inícios do século XX. O projeto de remodelação passou pela preservação das características das preexistências formais, nomeadamente, a estrutura original mista de alvenaria em pedra ordinária (de aparelho à vista), madeira e cobertura de cerâmica. A intervenção foi marcada pelo revestimento do pavimento em betão (pintado a tinta epóxi) e pela construção de um novo volume, constituído por uma estrutura metálica revestida a placas de compósito de partículas de madeira e cimento (*Viroc*), o que permitiu a criação de um mezanino que ampliou a área utilizável. Entre as áreas programáticas específicas concebidas no projeto, encontra-se o laboratório de conservação e restauro, espaços de reserva, um centro de documentação e, como referido, um equipamento cultural multifuncional, dedicado tanto a exposições de bens culturais, como de conferências e/ou comunicações (Gonçalves e Melâneo 2018).

No planeamento estratégico da criação da nova sede do CNANS, este novo espaço cultural visou dotar o centro de um ambiente com características pedagógicas e museográficas que simplifique, na sua dimensão social, quer o contacto das comunidades com a relevância cultural dos bens arqueológicos provenientes de meio subaquático e intersticial conservados no laboratório do CNANS, quer a acessibilidade de académicos e investigadores às problemáticas ainda não apreendidas e/ou pouco sistematizadas, sobre estas ocorrências patrimoniais. Paralelamente, este equipamento é também uma melhoria substancial nas condições para a comunicação e disseminação do serviço público prestado pelo centro, nomeadamente, as ações de formação, de salvaguarda patrimonial e de gestão da arqueologia náutica e subaquática nacional.

Atendendo à importância museal que a criação deste novo espaço cultural vem carrear na apresentação, valorização e conservação das coleções arqueológicas à guarda do centro (essencialmente materiais lenhosos e metálicos, uma grande maioria de dimensões consideráveis); o entendimento do comportamento climático intrínseco do edifício da SP revelava-se, por um lado, como uma ferramenta capital à clarificação dos intervalos ambientais, intrínsecos da sala, sustentáveis para a conservação preventiva deste tipo de artefactos e, por outro lado, como um instrumento vantajoso na identificação das necessidades (e dos encargos) de ações diretas a alocar à exibição das coleções, com vista à redução

do risco de deterioração por condições ambientais, de uma forma global.

De forma a dar resposta a estas questões inaugurais, o laboratório do CNANS iniciou, em outubro de 2022, um programa de estudo e de monitorização da dimensão ambiental do espaço com os objetivos de: i) conhecer com detalhe o seu comportamento higrotérmico sazonal, ii) analisar a distribuição sazonal (e percentual) dos fatores de risco ambiental identificados no padrão climático apurado, iii) distinguir a conveniência dos registos medidos com os requisitos de preservação das coleções à guarda do centro e, iv) propor ações e/ou suportes museográficos de minimização dos fatores de risco climático aferidos.

Enquadramento

Se para a generalidade dos bens culturais o reconhecimento destes aspetos é fundamental no seu tratamento museográfico (Sciurpi *et al* 2015), no caso da exibição de artefactos provenientes de contextos arqueológicos encharcados e intersticiais, a singularidade dos efeitos da sua deterioração e a especificidade das suas metodologias de conservação (Hamilton 1999), aporta a esta realidade patrimonial características (físicas e materiais) mais suscetíveis a danos por causas ambientais, que as esperadas nos materiais arqueológicos procedentes de meios secos (Jenssen e Pearson 1987).

Por exemplo, os fenómenos de retração derivados da secagem descontrolada de materiais lenhosos, são responsáveis pela exposição interna da madeira a fatores de risco ambiental -como variações elevadas de humidade relativa (HR)-, que alteram a estabilidade dos coeficientes de dissecação interiores, estimulando novas tensões de tração suscetíveis de rutura material (Glass e Zelinka 2010: 4-5-4-7). Por outro lado, as propriedades deliquescentes dos produtos de consolidação, à base de polietilenoglicol (PEG), utilizados no tratamento de madeiras encharcadas, podem aumentar, exponencialmente, a humidade de equilíbrio (HE) desses materiais se a HR do ar for elevada (>80%), o que não beneficia nem a estabilidade física, nem a resistência das suas superfícies (Broda e Hill 2021: 21). A fluidez do PEG de baixo peso molecular (400 e 600) à temperatura ambiente, favorece, por seu lado, a ocorrência de processos de alteração cromática, retração e/ou de variação da dureza, devido a fenómenos de migração celular do consolidante nos materiais, se os valores atmosféricos de temperatura (T) forem constantes >20 °C (Grattan e Clarke 1987:196). No caso dos materiais inorgânicos (em particular nos metais), níveis de HR >50% aceleram o incremento das reações de corrosão por sais nos materiais ferrosos, podendo provocar novos danos (fissuras e escamação), que irão comprometer o valor arqueológico desses bens (Watkinson e Lewis 2005: 243). Nas ligas de cobre, apenas com valores de HR <42%, existe segurança de não ocorrerem anomalias materiais pela corrosão (Rimmer *et al.* 2013: 11).

Nas últimas décadas os níveis médios ambientais padronizados de HR e T (55%, 20 °C), definidos para a conservação preventiva da globalidade dos bens culturais (Thomson 1986), têm vindo a ser substituídas por novos normativos, menos rígidos, onde os intervalos de tolerância que evitam a degradação dos objetos, são determinados tanto em função do tipo de coleções (e do seu enquadramento climático), como do historial da flutuação ambiental apurada ao longo do tempo (ASHRAE 2011; EN 15757: 2010). Este entendimento baseia-se na ideia de aclimatização, que é o processo pelo qual os materiais expostos por períodos prolongados a um determinado ambiente, adquirem propriedades reológicas (dureza, porosidade, estabilidade, fluência, reação viscoelástica etc.) conformes à dissipação das tensões internas, derivadas dos efeitos das oscilações climáticas, sem comprometimento do seu vínculo material e patrimonial (Harvey e Freedland 1989: 405). No fundo, é fazer a gestão ambiental em contextos de fatores de risco, em vez de tentativas de a subordinar a um conjunto prescritivo de critérios genéricos, centrados em parâmetros de controlo climatéricos rigorosos.

Esta mudança de paradigma decorre, essencialmente, dos modelos de conservação preventiva, baseada em parâmetros normalizados, apresentarem elevados consumos de recursos (materiais e humanos) e de energia para a manutenção dos padrões climatéricos ideais. Um dos maiores desafios dos espaços com a finalidades museográficas e/ou expositivas, é alcançar um equilíbrio entre os requisitos de conservação e a economia de energia, onde os objetivos preservativos das coleções são definidos de acordo com as necessidades, sem nunca colocar em causa uma conservação adequada dos objetos e da sua realidade preservativa (Janssen e Christensen 2013: 169-170).

No estudo que se apresenta, propõe-se discutir a análise higrotérmica de longo prazo -flutuações sazonais e de curto prazo-, realizadas a partir da recolha dos dados ambientais da SP do CNANS, em duas campanhas de monitorização -realizadas entre 21 de outubro de 2022 e 19 de novembro de 2023; e entre 5 de fevereiro de 2024 e 5 de março de 2025-, de acordo com a norma europeia EN 15757: 2010. Sendo este estudo o primeiro realizado em Portugal, dedicado exclusivamente aos aspetos da especificidade da conservação preventiva de coleções arqueológicas, provenientes de contextos encharcados e intersticiais, pretende-se que este trabalho seja um espaço de recolha de informação real das questões preservativas inerentes a esta categoria da conservação patrimonial, e também de partilha de modelos museográficos tendentes à gestão equilibrada e sustentável dos encargos e dos expedientes de minimização de danos por causas ambientais, na exibição deste tipo de bens arqueológicos. Por outro lado, e tendo a tutela como missão no domínio da salvaguarda, investigação, conservação e restauro, valorização e divulgação do património, o atributo de definir e difundir metodologias e procedimentos de atuação (Decreto-Lei n.º 78/2023), considera-se que este trabalho se vem evidenciar no estabelecimento de um corpus de literatura técnica atinente à musealização de artefactos arqueológicos de cariz náutico

e subaquático em Portugal. Por fim, a investigação realizada neste equipamento cultural, situado num edifício reabilitado (diferente de um edificado histórico) e com uma gestão que vai além de finalidades expositivas e/ou museográficas, não deixa de ser uma oportunidade de carrear conhecimento sobre os efeitos das opções de reabilitação moderna, no comportamento climático dos ambientes interiores concebidos para valências públicas de foro cultural.

Materiais e Métodos

A SP é uma fração anexa à edificação principal da sede do CNANS, de planta poligonal irregular, sem compartimentação e encimada por um telhado de quatro águas. Tem uma área útil de 145 m² e um pé-direito máximo de 9 m, a que corresponde uma volumetria total de cerca de 1200 m³. À semelhança do restante edifício, a opção de reabilitação seguida passou igualmente pela manutenção do paramento original de alvenaria em pedra ordinária (de aparelho à vista), do madeiramento da cobertura -armada com asnas, madres e varas forradas com guarda-pó-, e do revestimento em telha cerâmica. Do mesmo modo que o restante imóvel, o pavimento é em betão pintado a tinta epóxi branca. A área utilizável da sala encontra-se ainda apainelada por um revestimento de placas de Viroc, que comporta pelo interior as instalações técnicas específicas (eletricidade, telecomunicações, luz e som), e contribui para regularização da geometria do espaço.

As frentes do edifício estão orientadas no sentido Sul/Norte. Na frente Sul, virada para o Rio Tejo, encontra-se a entrada [Figura 1]. Na frente Norte, existe uma abertura exterior de iluminação com portada de Viroc, que se funde com o restante revestimento parietal interior do mesmo material. A iluminação é realizada com luminárias industriais (6) e quatro focos móveis de luz LED. A sala encontra-se ainda equipada com sistema de climatização HVAC, de gestão autónoma do restante edifício, uma tela, um projetor vídeo e um sistema de sonorização áudio.

Desde 2021 que a SP tem sido palco de várias comunicações, formações e eventos culturais, com ampla participação e afluência de públicos variados, das quais destacamos: os workshops “Registo 3D em Arqueologia Náutica e Subaquática” (novembro de 2021), “Frozen in Time, Liofilização de Madeiras Encharcadas” (fevereiro 2022) e “Salvaguarda do Património Arqueológico Costeiro em Risco” (fevereiro 2025); os seminários “Alterações Climáticas: Património e Artes” (outubro 2022); o Open House Arqueologia (setembro 2023); e as conferências “A Arqueologia Subaquática em Moçambique” (junho 2024), e “Fahrenheit 1759 –das falsas cores da arqueografia submarina à geofísica do fim de uma verdadeira batalha naval” (dezembro 2024)-. À parte destes eventos, e porque as visitas ao centro são definidas por marcação prévia, a SP não está afeta a um regime de horários regulares e/ou de visitas, permanecendo, por esse motivo, com a iluminação e o sistema de climatização desligados na maioria do ano.

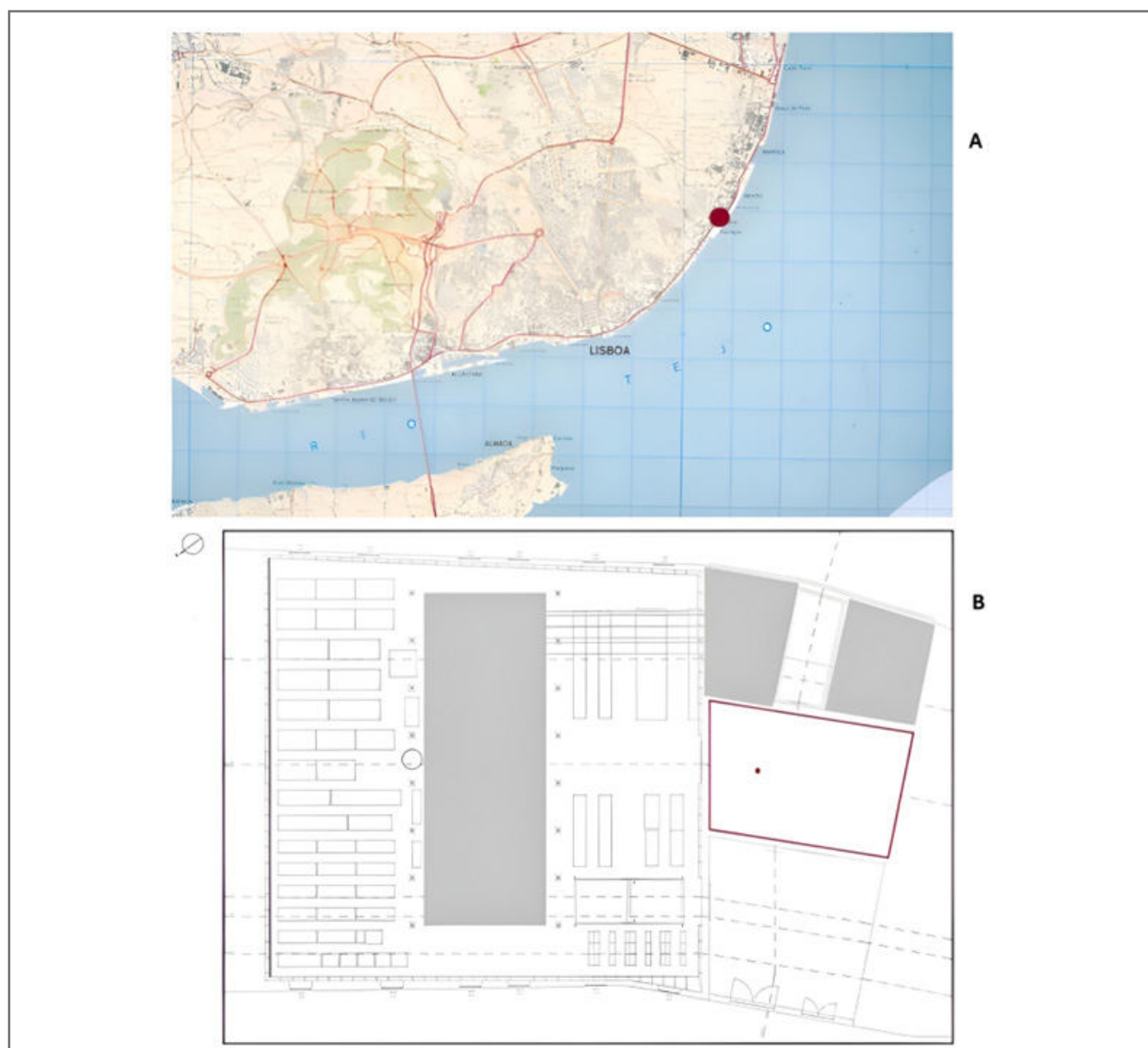


Figura 1. - A – Localização do CNANS na área urbana de Lisboa (Carta Militar de Portugal Série M888- Folha 431 – Lisboa); B - Planta do edifício sede do CNANS, da SP e a localização do datalogger na sala.

A metodologia do tratamento de dados envolvida neste estudo, combina a monitorização de longo-prazo e o exame estatístico, na caracterização climática SP do CNANS e na avaliação dos seus fatores de risco sazonais. A análise da resposta higrotérmica da sala nas duas campanhas de monitorização, seguiu de perto as orientações da norma europeia EN 15757:2010. Este método de tratamento de dados é centrado na variação da T e HR (características de cada clima), e na definição de bandas de valores de segurança definidos com base nas diferenças entre os dados registados e a média móvel sazonal. De forma a sistematizar relações (qualitativas e quantitativas), da conformidade do padrão climático aferido na SP com os parâmetros de risco ambiental estabelecidos para as coleções à guarda do CNANS, os dados da resposta higrotérmica da sala foram confrontados com os requisitos dos limites de segurança a danos por fatores climáticos, fixados para os objetos arqueológicos

(essencialmente lenhosos e metálicos) provenientes de ambientes encharcados e/ou intersticiais estabilizados a seco (Thomson 1986; Grattan e Clarke 1987; Jenssen e Pearson: 1987; Watkinson e Lewis 2005; Rimmer *et al.* 2013).

Tendo este estudo climático sido também encarado como uma ferramenta na gestão sustentável da eficiência energética da SP, a resposta higrotérmica do espaço aos fatores de risco climático sazonais procedeu apenas do comportamento intrínseco do seu invólucro espacial, sem a presença de fatores disruptores de controlo ambiental ativo (Martens 2012: 20). O que se pretendeu, é que a avaliação de ações diretas a aplicar sobre os fenómenos de deterioração ambiental detetados e/ou os encargos a considerar com expedientes de controlo, não sejam determinados por tentativas de alcançar especificações restritas (e tendencialmente in comportáveis), mas sim em função da qualidade da informação real observada do historial

da flutuação climática inata da SP ao longo do tempo, sem colocar em causa requisitos adequados de preservação (Maekawa *et al.* 2015: 41-49). Neste propósito, as duas campanhas de monitorização foram realizadas sem recorrer à utilização do sistema de climatização instalado no edifício.

Registos climáticos

Os registos climáticos correspondem à recolha diária de dados (a cada 30 minutos), num total de 48 entradas (HR e T) por dia, em mais de um ano de colheita –concretamente, 395 dias (um

ano mais um mês)-. O equipamento utilizado na recolha de dados foi um datalogger portátil da marca Rotronic®, modelo HP32, com capacidade de monitorização de dados de T entre -10 - 60 °C, e HR entre 0-100% (precisão ± 0.3 °C / $\pm 2\%$). O aparelho foi colocado num tripé, a cerca de um metro do chão e sensivelmente a meio da sala. Os dados climáticos exteriores à SP, são os registados pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), a que pela proximidade geográfica com a SP, correspondem à estação Lisboa/Geofísico (lat 38.7191°; lon -9.1497°), durante os dois períodos de campanha de monitorização ambiental em análise. A recolha global dos dados é apresentada na Tabela 1 e na Figura 2.

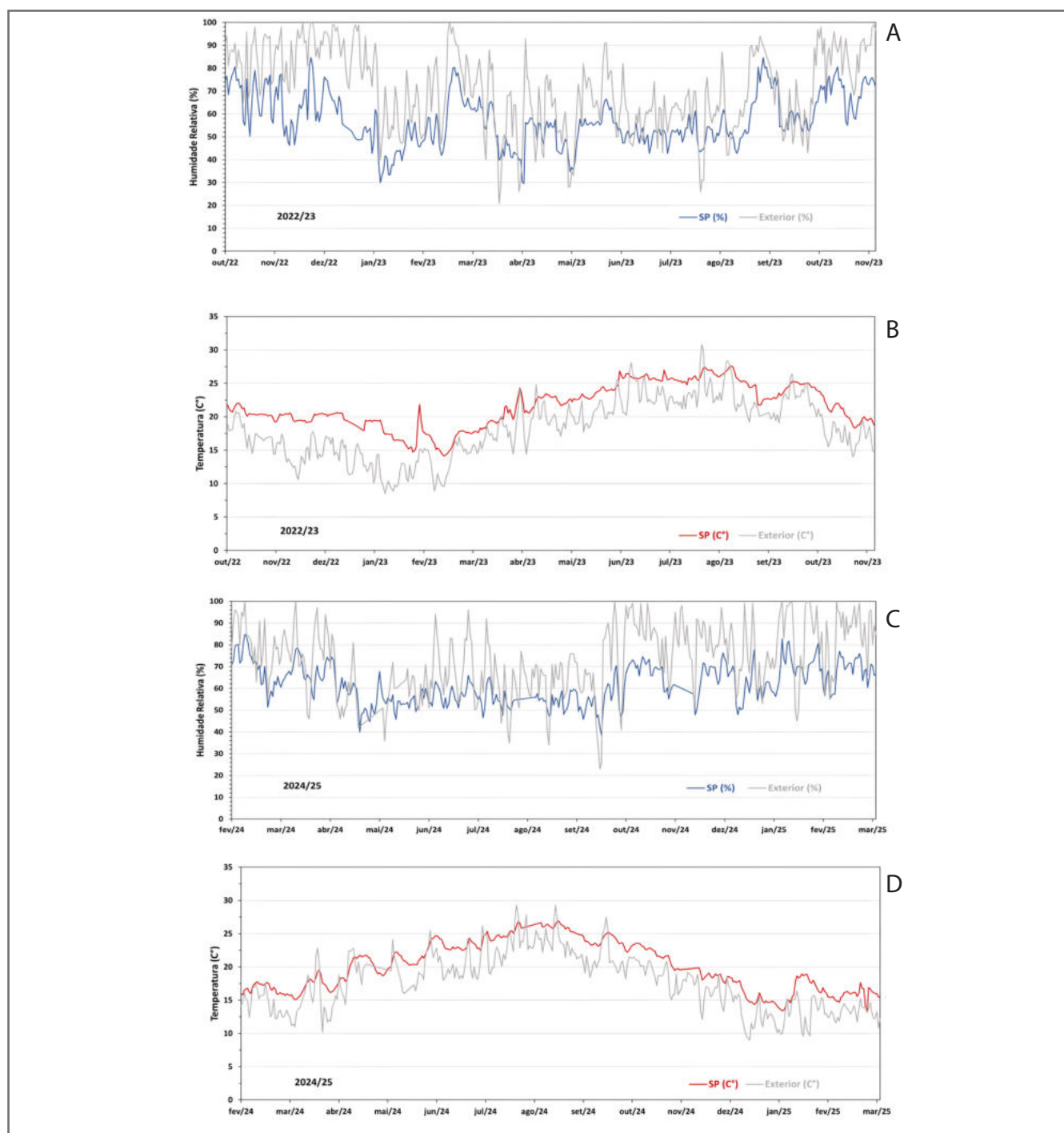


Figura 2.- Parâmetros higrotérmicos interiores e exteriores registados nas campanhas de 2022/23 e 2024/25.

Espaço	Campanha	Parâmetro	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Amplitude (Δ)
SP	21/10/2022	HR (%)	29,59	84,58	11,30	54,99
	19/11/2023	T (°C)	14,13	27,58	3,22	13,45
	05/02/2024	HR (%)	38,42	84,92	8,95	46,50
	05/03/2025	T (°C)	13,20	26,90	3,70	13,70
Exterior	21/10/2022	HR (%)	21,00	100,00	17,41	79,00
	19/11/2023	T (°C)	8,50	30,80	4,45	22,30
	05/02/2024	HR (%)	23,00	100,00	15,77	77,00
	05/03/2025	T (°C)	9,00	29,30	4,39	20,30

Tabela 1. - Sumário dos valores ambientais exteriores e os registados na SP.

Discussão dos resultados

Os dados da Figura 2 revelam de imediato uma forte relação climática interior-exterior, observando-se nos parâmetros em análise, uma forte simetria (mais rápida ou mais suave) entre a resposta higrotérmica da SP com as variações exteriores. Além desta inferência, outras podem ser referidas a partir da observação dos dados:

- As condições atmosféricas exteriores influenciam inquestionavelmente as condições ambientais da SP, patenteando o espaço, nas duas campanhas de monitorização, uma evolução dos parâmetros higrotérmicos interiores conformes às características climáticas de Portugal Continental, ou seja, T baixas e HR elevadas nos períodos Outono/Inverno, e HR baixas e T elevadas, nos de Primavera/Verão.

- Os registos de HR exterior são, na generalidade, mais elevados que os assinalados na SP, sucedendo o contrário com a T.

- A influência da inércia térmica do edifício claramente retarda a transferência de calor (interior/exterior), refletindo a estrutura capacidade em manter estável e confortável o ambiente interior, tal como mostra a amplitude da T das duas campanhas [Tabela 1].

- Os dados também evidenciam que o efeito da inércia térmica apresenta resiliência aos eventos meteorológicos relevantes – ondas de frio e de calor. Por exemplo, no ano de 2023, na onda de frio de janeiro (entre os dias 22 e 31), apesar da T exterior diária se situar, em média, abaixo dos 10°C, a T média do ar na SP (19.04°C) apenas registou um desvio de -1.34°C entre os dias 22 e 24, mantendo-se até ao final do mês com valores diários da ordem dos 17°C (IPMA: janeiro 2023).

- Na onda de calor de abril (ocorrida essencialmente na segunda quinzena), apesar da primeira anomalia extrema, registada no dia 17 (24.2 °C), corresponder ao maior pico médio diário de T na sala nesse mês (24,32 °C), verifica-se que a T interior volta a normalizar (a partir do dia 20), próxima do valor médio mensal, 21.12 °C. Até ao final do mês a T mantém-se estável em torno desse valor (desvio interior máximo de +1.85°C) - ainda que no dia 27 se registasse o dia de abril mais quente dos últimos 16 anos em Portugal continental, com um extremo máximo de 36.9 °C (IPMA: abril 2023).

- Nas duas campanhas a T mínima do ar não desceu abaixo dos 13°C. A T mínima da campanha de 2022/23 (14.13°C), registou-

se a 2 de março (T exterior 9.6°C); na campanha de 2024/25, a T mínima (13.20°C), ocorreu a 23 de fevereiro (T exterior 13.10°C).

- Na campanha de 2022/23, os valores médios diários de HR situaram-se, no geral, no intervalo entre 40 e 60%. Na campanha de 2024/25 situam-se entre 45 e 70%.

- Nas duas campanhas foram registados valores de HR extremos acima de 80% e mínimos abaixo de 30%. Os extremos superiores (>80%) registaram-se no período Outono/Inverno – essencialmente nos meses de dezembro e janeiro.

- Na campanha de 2022/23, os mínimos extremos de HR (<30%) ocorreram, sobretudo, durante os eventos meteorológicos de janeiro (29,97% no dia 23, HR exterior 40%) e abril (29.59% no dia 20, HR exterior 43%). Na campanha de 2024/25 os mínimos extremos de HR (<40%), verificaram-se a 23 de abril (39,98%, HR exterior 20,60%) e a 17 de setembro (38.42%, HR exterior 26%).

- Apesar de os dados evidenciarem o efeito da inércia térmica na resiliência da T média do ar da SP – inclusive perante eventos meteorológicos relevantes -, o mesmo não sucede com a HR, verificando-se sobre este parâmetro o impacto das condições atmosféricas exteriores no interior do edifício, como mostram os maiores valores de amplitude da HR, relativamente à T [Tabela 1].

Flutuações de curta duração

Sendo a definição de valores higrotérmicos uma tarefa nem sempre consensual na atribuição de parâmetros atmosféricos ideais para a exibição de bens culturais, o significado das flutuações diárias de curta duração da T e HR a que os objetos são submetidos, adquirem uma importância maior quer na compreensão do contexto ambiental circundante, quer na definição das medidas a adotar de minimização à exposição ao risco climático. Na verdade, os efeitos da deterioração por causas ambientais, dependem não só dos valores absolutos de cada um desses indicadores, mas também das características da sua variação ao longo do tempo.

De forma genérica, os objetos arqueológicos provenientes de ambientes encharcados e intersticiais, não devem ser mantidos em limites de HR >65%, devido à possibilidade de variação volumétrica dos produtos usados de consolidação de materiais lenhosos (à base de PEG), e também por potenciarem os riscos da ocorrência de fenómenos de corrosão nos metais. Os limites de HR considerados “aceitáveis” para a exibição da generalidade dos elementos orgânicos desta cultura material (em particular os lenhosos), situam-se entre o intervalo de 40-65%. Idealmente este requisito deve permanecer imutável, variando no máximo $\pm 5\%$. Se tal não for viável, uma variação gradual de HR de 10 ou mesmo 15%, ao longo de um ano, pode ser considerada admissível, se tal não causar danos para os artefactos. No que respeita à T, os intervalos toleráveis de exposição devem situar-se entre 15-25 °C, com uma variação de +5°C. Sobre os efeitos que a T pode ter na preservação deste tipo de bens arqueológicos, é preciso ponderar os fenómenos (e os efeitos) da migração

celular do PEG de baixo peso molecular (400 e 600) nos materiais, devendo-se, portanto, evitar na exibição de peças a $T > 20^{\circ}\text{C}$, mas também acautelar aproximações da T ambiente do ponto de orvalho e da formação de condensação (Thomson 1986: 43; Jenssen e Pearson: 1987: 269).

Na Tabela 2 encontra-se identificadas as amplitudes diárias (ΔHR e ΔT) máxima e mínima, registadas nas duas campanhas de monitorização da SP, a amplitude média anual, assim como a percentagem de conformidade estatística das amplitudes diárias, com os requisitos das variações de tolerância referidas para a categoria de conservação em estudo. Atendendo que ΔHR

se pode situar entre 5 e 15%, a referência de ΔHR neste estudo foi estabelecida pela média dos dois limites, 10%. Relativamente a ΔT , o valor adotado foi o recomendado na especificidade, 5%.

Espaço	Campanha	Parâmetro	Δ (24h)		% Conformidade (24H)	Δ média (anual)
			Máximo	Mínimo		
SP	2022/23	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$	9,75	0,41	99%	1,40
		$\Delta\text{RH} (\%)$	37,63	1,07	72%	7,56
	2024/25	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$	9,18	0,13	99%	1,16
		$\Delta\text{RH} (\%)$	32,45	0,78	83%	6,21

Tabela 2.- Sumário das variações diárias dos parâmetros higtotérmicos monitorizados nas duas campanhas.

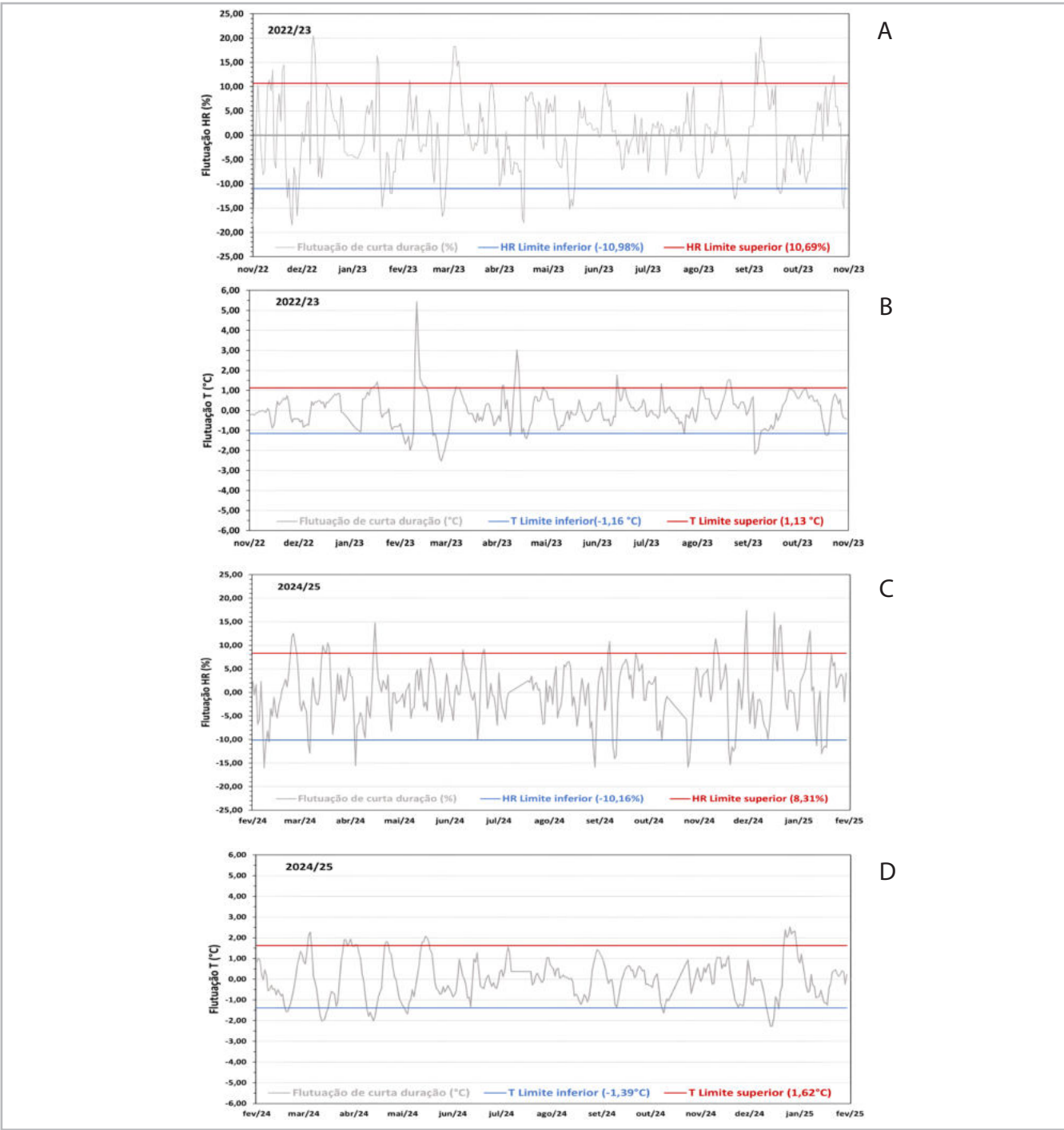


Figura 3.- Flutuações de curta duração (T e HR) na SP e respetivos limites aferidos.

Discussão dos resultados

Como se observa nos dados, o comportamento da SP nos dois períodos de monitorização é bastante semelhante. Na campanha de 2024/25, existe uma maior percentagem de conformidade diária de ΔHR com a variação de referência (10%), do que na campanha de 2022/23. Como se observou nos registos climáticos, o ano de 2023 foi marcado por eventos meteorológicos relevantes (e que influenciaram o comportamento higrotérmico da SP), não podendo este fator deixado de ser considerado na ocorrência de uma ligeira diferença percentual da conformidade de ΔHR nas duas campanhas. Quanto a ΔT , verifica-se que a percentagem de conformidade diária com os requisitos das variações de tolerância é igual (99%) nas duas campanhas, considerando-se que a massa térmica do edifício ajudou positivamente a evitar flutuações bruscas de curto prazo. Da análise das médias anuais de ΔHR e ΔT , verifica-se também que os valores obtidos se enquadram dentro dos limites de variação adotados.

De acordo com a norma EN 15757:2010, não existem valores fixos de flutuações diárias, sendo a aferição dos ciclos sazonais obtida através do cálculo da média móvel, que é a média aritmética dos 15 registos médios, anteriores e posteriores, a cada registo médio diário. As flutuações de curta duração, correspondem à diferença entre o valor médio diário registado e o valor da média móvel. Os limites, inferior e superior, de T e HR, são determinados do cálculo do 7º e 93º percentis das variações registadas durante um período de monitorização – de mais de um ano. A norma também define que, se as flutuações de HR de curta duração não se afastarem mais de 10%, estas podem ser ignoradas. Os intervalos de segurança calculados da SP com esta metodologia encontram-se na Figura 3. Dos dados obtidos podem ser tiradas as seguintes ilações:

- Analisando os limites superior e inferior de segurança calculados dos parâmetros higrotérmicos, verifica-se que eles variam em ambas as campanhas.
- Na campanha de 2024/25 as flutuações diárias são menores, assim como os intervalos de segurança apurados.
- Apesar de em ambas as campanhas, os limites de HR obtidos se afastarem ligeiramente do estabelecido pela norma EN 15757: 2010 (+ 10%), estes, por outro lado, encontram-se enquadrado nos requisitos de variação de HR atribuídos na literatura para a exibição de objetos arqueológicos provenientes de ambientes encharcados.

Este tipo de análise demonstra a importância que os trabalhos de monitorização ambiental de longo prazo (mais de um ano), têm na compreensão das respostas higrotérmicas de espaços museológicos e/ou expositivos, e também na clarificação dos fatores de risco climático inerentes ao respetivo edificado. Esta evidência deve ainda ser reforçada por análises comparativas com outros trabalhos da mesma natureza, realizados a partir do estudo das condições históricas do clima interior e da história dos próprios edifícios, de forma às medidas a adotar na preservação de coleções e bens culturais, sigam orientações

melhor fundamentadas e objetivamente mais realistas. Nesse propósito, a tentativa de estabelecer paralelos entre os resultados da SP com outros trabalhos semelhantes não se revela uma tarefa simples. Desde logo, pelo facto de a estrutura do edificado resultar da reabilitação de um edifício de armazém do início do século XX, construído com alvenaria de pedra ordinária (de aparelho à vista), madeira e cobertura de cerâmica, o que não se enquadra com os habituais estudos deste género, realizados em universos museológicos inseridos em construções de importância histórica, edificadas com alvenaria de pedra aparelhada e revestidos, pelo interior, com rebocos de argamassas pintada e/ou paramentos em madeira (Camuffo 2014; Silva e Henriques 2015; Pereira *et al.* 2019). Depois, por os valores higrotérmicos analisados serem recolhidos diretamente do invólucro espacial da sala (e sem a interferência de fatores de controlo ambiental ativo), e não do interior de suportes museográficos de controlo ambiental, como vitrines (Sciurpi *et al.* 2015). Por fim, porque a especificidade dos efeitos de deterioração e das metodologias de conservação da cultura material em estudo, se mostrar como uma realidade preservativa ainda pouco individualizada e sistematizada (Cabello-Briones 2011), à luz de estudos de monitorização ambiental (de longo prazo) de coleções e bens culturais.

Determinação dos limites higrotérmicos

Nesta secção será efetuada a análise das variações sazonais dos registos climáticos obtidos das duas campanhas de monitorização da SP, seguindo os procedimentos da norma EN 15757:2010 (i.e., o cálculo da média móvel e a determinação dos limites de segurança através dos valores do 7º e 93º percentis das variações registadas durante os períodos de monitorização). Apesar da norma EN 15757:2010 estar principalmente direcionada para a HR, a sua metodologia foi também aplicada à T. A Figura 4 mostra a representação gráfica da aplicação da metodologia, definindo os limites, superior e inferior, de flutuações aceitáveis (i.e., o 7º e 93º percentis). Na Tabela 3 estão os resultados sumarizados. Baseado nesses dados, podem ser estabelecidas as seguintes considerações:

Espaço	Campanha	Parâmetro	Média	Limites	
				Inferior	Superior
SP	2022/23	HR (%)	57,41	33,30	80,93
		T (°C)	21,77	14,74	27,68
	2024/25	HR (%)	61,75	42,20	78,54
		T (°C)	19,97	13,33	27,89

Tabela 3.- Sumário dos limites dos parâmetros higrotermais de acordo com a norma EN 15757:2010.

- Genericamente, a T é o parâmetro que menos oscila nas campanhas de monitorização.
- A média anual da HR em 2024/25 é superior que a média anual da HR 2022/23. O limite superior de segurança deste último é mais elevado que o do ano 2024/25. O inverso sucede com os limites inferiores.

• Embora se tenham registado flutuações relevantes nas das campanhas, as médias anuais da T e HR enquadraram-se nos intervalos de oscilação ambiental, admitidos para a conservação dos objetos arqueológicos provenientes de ambientes encharcados e intersticiais. De notar que as médias anuais da T são as adequadas para a o conforto humano.

• Na campanha de 2022/23 é onde se observa os limites de segurança mais extremos de HR. A campanha de 2024/25 é a que apresenta o menor limite de segurança de T.

• A HR e os respetivos limites de segurança, mantêm-se mais estáveis no período Primavera/Verão que no período Outono/Inverno, nas duas campanhas. É também no período Primavera/Verão que os limites da HR são mais consentâneos com os limites de segurança ao dano climático das coleções à guarda do CNANS.

• Os limites superiores da T são registados no período Primavera/Verão, mais concretamente nos meses de julho e agosto. É também nestes meses a única altura em que os limites de segurança se afastam dos requisitos da T, admitido neste estudo.

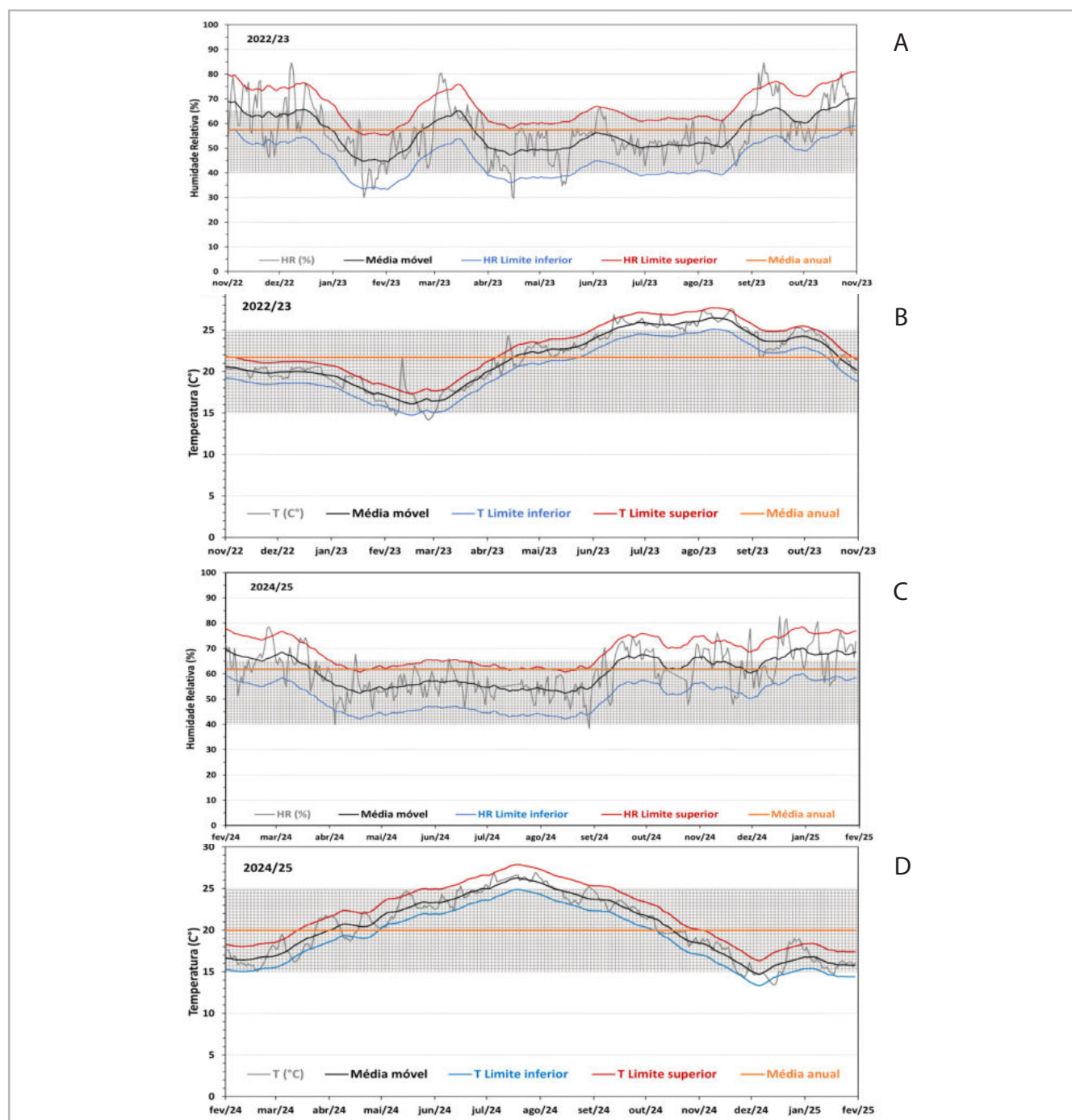


Figura 4.- Limites de segurança (de acordo com a EN 15757: 2010) comparados com os dados ambientais monitorizados na SP. As áreas sombreadas correspondem aos limites definidos na literatura para a generalidade dos objetos arqueológicos provenientes de ambientes encharcados e/ou intersticiais.

Discussão dos resultados

Para sistematizar a distribuição do padrão climático identificado com os parâmetros de risco ambiental das coleções à guarda do CNANS, os dados foram ainda relacionados com os requisitos de segurança ao dano por condições climáticas, estabelecidos para os objetos arqueológicos provenientes de ambientes encharcados e/ou intersticiais [Figura 5]. Como vimos anteriormente, os intervalos ideais para a preservação destes artefactos são: 40-65% HR e 15-25 °C. De acordo com estas condições: i) verifica-se nas duas campanhas que a SP mostra um comportamento ambiental intrínseco satisfatório; ii) contrariamente ao esperado (devido à ocorrência de eventos meteorológicos relevantes), a sala apresentou um melhor desempenho global na campanha 2022/23 do que na de 2024/25; iii) na transição de 2022/23 para 2024/25, a percentagem de HR no intervalo 40-65%, baixou 13.4%. Por outro lado, a $T > 25^{\circ}\text{C}$ reduziu 12.7% e aumentou 12.2% abaixo de 15°C .

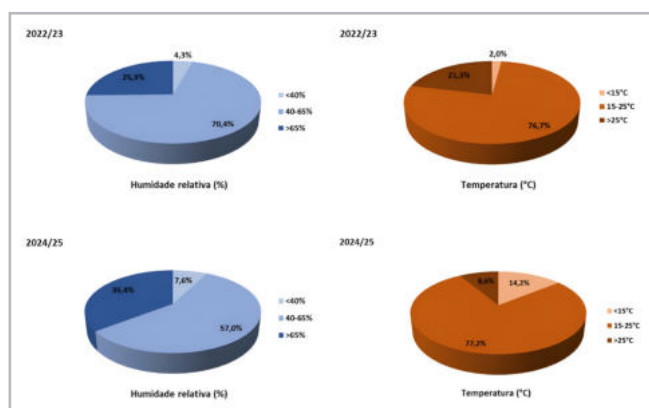


Figura 5.- Distribuição percentual dos dados das duas campanhas de acordo com os limites ambientais definidos para a generalidade dos objetos arqueológicos provenientes de ambientes encharcados e/ou intersticiais

Apesar de os dados revelarem um desempenho ambiental satisfatório da SP à luz dos preceitos genéricos da categoria de conservação em estudo, os sub-requisitos inerentes à especificidade da sua preservação e à diversidade material desta realidade patrimonial, foram também matéria de análise. Assim, foi também investigada a ocorrência percentual dos valores diários de T que evitam a migração celular do PEG (400 e 600) no interior celular da madeira ($< 20^{\circ}\text{C}$), bem como a proporção de valores de HR que mitigam a exposição das ligas ferrosas ($< 50\%$) e de cobre ($< 42\%$), a danos por condições climáticas.

Pelos dados da Figura 6 percebe-se que no universo dos sub-requisitos de conservação enunciados, o comportamento ambiental da SP, ao longo das duas campanhas, não mostra um desempenho intrínseco tão razoável, quando comparado com os resultados da Figura 5. De facto, nesta nova relação de parâmetros de controlo, apenas a condição $T < 20^{\circ}\text{C}$, essencial para evitar fenómenos de migração celular dos produtos PEG de baixo peso molecular nos materiais, apresenta valores percentuais significativos (48%) na campanha 2022/23,

ocorrendo mesmo um aumento (11,5%), na transição para a campanha de 2024/25 (59.5%). Todos os restantes sub-requisitos, não exibem registos que se possam considerar toleráveis para a conservação preventiva da especificidade material em análise, nos dois períodos de monitorização.

Desta situação se realça a importância da realização de uma análise cuidadosa e detalhada da monitorização de dados higrotérmicos, no sentido de um melhor entendimento dos fatores de risco ambiental para as coleções e bens culturais, e na definição de medidas da sua gestão sustentável, fundamentadas em evidências climáticas.

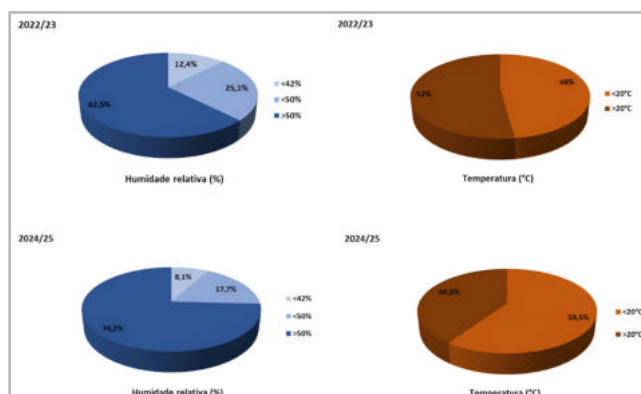


Figura 6.- Distribuição percentual dos dados das duas campanhas de acordo com os subcritérios de segurança dos objetos arqueológicos provenientes de ambientes encharcados e/ou intersticiais.

Considerações finais

Como se observa do padrão climático aferido nas duas campanhas de monitorização da SP, a T é o parâmetro que apresenta dados mais estáveis ao longo do ano, apenas existindo desvios extremos sistemáticos ($> 25^{\circ}\text{C}$) ao intervalo estabelecido ($15-25^{\circ}\text{C}$), essencialmente nos meses de julho e agosto. Por seu lado, os dados da HR apenas exibem um comportamento adequado (i.e., no intervalo 40-65%), nos períodos Primavera/Verão. Nos períodos Outono/Inverno, a HR apresenta uma forte relação climática interior-exterior, sendo também nessas alturas que se registam os valores mais extremos ($> 80\%$) nomeadamente em dezembro e janeiro. Quanto aos sub-requisitos de conservação considerados, apenas a condição $T < 20^{\circ}\text{C}$ apresenta uma quantificação aceitável, no balanço das duas campanhas. Os restantes preceitos, HR $< 50\%$ para as ligas ferrosas e $< 42\%$ para as ligas de cobre, não foram obtidos registos que se possam considerar seguros para evitar danos causados pelas condições climáticas nesses materiais.

Da informação recolhida é manifesta a necessidade de introduzir algumas medidas de controlo ambiental na SP, de modo a minimizar o impacto dos registos higrométricos identificados. Atendendo que o espaço possui um sistema de climatização HVAC, a sua utilização no aquecimento do ar, quando a HR é elevada, ou no arrefecimento, para reduzir a T nos meses de Verão, parece ser a medida (ativa) mais evidente a implementar.

Na verdade, o critério real que este estudo aporta ao emprego parcimonioso do sistema de climatização, é uma ferramenta de mais valia no equilíbrio sustentável da sua utilização e também na melhoria das condições ambientais da sala em evitar o dano patrimonial. Apesar disso, é importante observar que o volume considerável da SP (cerca de 1200 m³), poderá não oferecer as melhores garantias de circulação de ar condicionado, suficiente para manter uma uniformidade de inércia higrótérmica diária e/ou sazonal do espaço (Maekawa *et al.* 2015: 35). Por outro lado, e tendo em conta a diferente natureza dos materiais (lenhosa e metálica) analisados neste estudo, os seus fatores de deterioração, de conservação e os limites distintos de segurança à degradação por causas climáticas que apresentam, fica também evidente que na coordenação das várias decisões de preservação ambiental a determinar na SP, estas poderão opor-se ou interferir entre si, o que condiciona as opções das programações museológicas a destinar ao espaço.

Perante este cenário, a opção de conjugar a utilização do sistema de climatização HVAC - nos meses mais críticos identificados (julho, agosto, dezembro e janeiro) -, com a criação de microclimas específicos para a exibição de artefactos - através do recurso a suporte museográfico passivos, como vitrines -, evidencia-se como um modelo de controlo ambiental misto que, além de dar garantias de uma melhor eficiência energética na climatização da SP, assegura ambientes expositivos para os bens culturais à guarda do CNANS minimizadores do risco de danos por fenómenos climáticos, mais conformes às suas necessidades de preservação (nomeadamente para os metais) e menos dependentes de equipamentos tecnológicos de controlo ambiental. Concomitantemente, esta solução confere também uma maior liberdade dos materiais a exibir e autonomia das programações culturais.

A sustentabilidade ambiental de espaços com características museológicas e/ou expositivas é, na atualidade, reconhecida como um aspeto fundamental na abordagem às questões conservativas a empregar na exibição de coleções e bem culturais, como também no planeamento dos recursos e na sustentabilidade do dispêndio de energia, essenciais à gestão destes equipamentos culturais. Por conseguinte, as prioridades estratégicas da gestão climática devem ser encaradas de forma holística, concorrendo na definição dos modelos hodiernos de conservação preventiva, além de uma boa avaliação do comportamento ambiental dos espaços e da climatologia regional, a implementação de soluções que não passem pela dependência excessiva de equipamentos e/ou de sistemas de climatização, tendencialmente dispendiosos e tecnologicamente frágeis. Assim, a definição correta do intervalo dos parâmetros climáticos e o controlo das flutuações higrótérmicas (rápidas e/ou extremas, é um passo fundamental na persecução deste tipo de estratégias.

Agradecimentos

O autor gostaria de agradecer ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), a cedência dos dados climáticos

exteriores (correspondentes à estação Lisboa/Geofísico) nos dois períodos de monitorização ambiental da SP do CNANS.

Referências

- ASHRAE (2011). Chapter 23. *Museums, galleries, archives, and libraries. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE Handbook HVAC Applications* (SI Edition). 1-22. ISBN 978-1-936504-07-7.
- BRODA, M., HILL, C. A. S. (2021). "Conservation of Waterlogged Wood—Past, Present and Future Perspectives." *Forests*, 12, 1193: 25-79 <https://doi.org/10.3390/f12091193>
- CABELLO-BRIONES, C. (2011). "A reflection on the preventive conservation of archaeological wood and the effects of mass tourism - The Case Study of the Vasa Warship". *e-conservationline*, 18, 44-52, ISSN: 646-9283 (PDF) Reflection on the Preventive conservation of Archaeological Wood and the Effects of Mass Tourism [Consulta: 20/04/2025]
- CAMUFFO, D., BERTOLINA, C., BONAZZIB, A., CAMPANAC, F., MERLOD, C. (2014). "Past, present and future effects of climate change on a wooden inlay bookcase cabinet: A new methodology inspired by the novel European Standard EN 15757:2010." *Journal of Cultural Heritage*, 15: 26-35 <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2012.12.005>
- Carta Militar de Portugal Série M888- Folha 431 – Lisboa. ISBN:972-765-332-4
- Decreto-Lei n.º 78/2023, 4 de setembro Decreto-Lei n.º 78/2023 | DR [Consulta: 20/04/2025]
- EN 15757: 2010 (2010). Conservation of Cultural Property – Specifications for Temperature and Relative Humidity to Limit Climate-induced Mechanical Damage in Organic Hygroscopic Materials, BSI Standards Publication.
- GLASS, S. V., ZELINKA, S. V. (2010). "Moisture Relations and Physical Properties of Wood." *Wood handbook—Wood as an engineering material*, Risbrudt, C. D. (Dir). Madison, Forest Products Laboratory: 4-1, 4-19
- GONÇALVES, C., MELÂNEO, P. (2018). "Lisboa Oriental – Mapeamento". *Jornal Arquitectos*, 257. <http://www.jornalarquitectos.pt/pt/jornal/epicentros-pos-industriais/lisboa-oriental-2>. [Consulta: 14/03/2025]
- GRATTAN, D. W., CLARKE, R. W. (1987). "Conservation of waterlogged wood". *Conservation of Marine Archaeological Objects*, Pearson C. (Ed.), Camberra: 164 – 206 <https://doi.org/10.1016/B978-0-408-10668-9.50015-0>
- HAMILTON, D. L. (1999). *Methods for Conserving Archaeological Material from Underwater Sites*, Conservation Research Laboratory, Center for Maritime Archaeology and Conservation, Texas, A&M University. UA-116 <https://nautarch.tamu.edu/wp-content/uploads/2025/04/ConservationManual.pdf> [Consulta: 26/03/2025]

HARVEY, R., FREEDLAND, C. (1989) "Exhibition and Storage of Archaeological Wood" *Archaeological Wood: Properties, chemistry, and Preservation*, Rowell R.; Barbour R. (Eds). Washington DC: 399 – 417 <https://doi.org/10.1021/ba-1990-0225.ch015>

IPMA (janeiro 2023). *Boletim Climático, Portugal Continental*. PDF, 1ª Versão, Lisboa: Instituto Português do Mar e da Atmosfera. [cli_20230101_20230131_pcl_mm_co_pt.pdf](https://doi.org/10.22301/20230101_20230131_pcl_mm_co_pt.pdf) [Consulta: 27/03/2025]

IPMA (abril 2023). *Boletim Climático, Portugal Continental*. PDF, 1ª Versão, Lisboa: Instituto Português do Mar e da Atmosfera. [cli_20230401_20230430_pcl_mm_co_pt.pdf](https://doi.org/10.22301/20230401_20230430_pcl_mm_co_pt.pdf) [Consulta: 26/03/2025]

JANSSEN, H., CHRISTENSEN, J. E. (2013). "Hygrothermal optimisation of museum storage spaces", *Energy and Buildings*. 56: 169–178 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.043>

JENSSEN, V., PEARSON C. (1987). "Environmental considerations for storage and display of marine finds". *Conservation of Marine Archaeological Objects*, Pearson C. (Ed.), Camberra: 268-270 <https://doi.org/10.1016/B978-0-408-10668-9.50018-6> [Get rights and content](#)

MAEKAWA, S., BELTRAN, V. L., HENRY, M. C. (2015). *Environmental Management for Collections. Alternative Preservation Strategies for Hot and Humid Climates*. Los Angeles, The Getty Conservation Institute.

MARTENS, M. H. J. (2012). "Climate risk assessment in museums: degradation risks determined from temperature and relative humidity data." *Doctor of Philosophy, Built Environment, Eindhoven*. <https://doi.org/10.6100/IR729797>

PEREIRA, D. L., GASPAR, A. R., COSTA, J. J., PEREIRA, G. (2019). "The importance of long-term hygrothermal assessment of museum spaces: method and application in a permanent exhibition in a historical building." *Conservar Património*, 30, 91–105. <https://doi.org/10.14568/cp2018005>

RIMMER, M., THICKETT, D., WATKINSON, D., GANIARIS, H. (2013). *Guidelines for the storage and display of archaeological metalwork*. [Technical Report]. Guidelines, London: English Heritage. <https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/61283> [Consulta: 14/03/2025]

SCIURPI, F., CARLETTI, C., CELLAI, G., PIERANGIOLI, L. (2015). "Environmental monitoring and microclimatic control strategies in «La Specola» museum of Florence". *Energy and Buildings* 95: 190–201 <https://doi.org/10.1504/IJMRE.2015.129554>

SILVA, H. E., HENRIQUES, F. M. A. (2015). "Preventive conservation of historic buildings in temperate climates. The importance of a risk-based analysis on the decision-making process". *Energy and Buildings*, <https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.067>

THOMSON, G. (1986). *The museum environment*. Butterworths, in association with the International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

WATKINSON, D., LEWIS, M. T. (2005). "Desiccated Storage of Chloride-Contaminated Archaeological Iron Objects". *Studies in Conservation*, 50(4), 241–252. <https://doi.org/10.1179/sic.2005.50.4.241>

Autor/es



João Henrique Marrocano

macedo.marrocano@marinha.pt

Museu de Marinha

<https://orcid.org/0000-0003-2677-527X>

Bacharel em Conservação e Restauro, Instituto Politécnico de Tomar, 2006. Licenciado em Conservação e Restauro, Instituto Politécnico de Tomar em 2008, Pós Graduação em Mercado da Arte e Colecionismo, Universidade Nova de Lisboa, 2018. Conservador restaurador de Património Cultural e Artes Decorativas tem desenvolvido a sua atividade no âmbito da preservação de materiais orgânicos e dos seus revestimentos, para diversas instituições nacionais (públicas e privadas), de cariz patrimonial. Complementarmente tem produzido artigos e apresentações de investigação técnica, histórica e científica sobre bens culturais, artes decorativas portuguesas e conservação e restauro de bens arqueológicos subaquáticos. Principais interesses: tratados técnicos antigos relacionados com a produção e revestimento de Património Cultural, Artes Decorativas da Expansão e construção naval; história da conservação e restauro de materiais orgânicos e revestimentos; peritagem e avaliação de Artes Decorativas e Antiguidades.

Artículo enviado 12/07/2025
Artículo aceptado el 17/09/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1414>



Las obras de arte urbano de Banksy en Bristol y Londres, un nuevo recurso patrimonial difícil de tutelar

Francisco Delgado Chica

Resumen: El Arte Urbano se ha convertido en una de las expresiones culturales más identitarias del siglo XXI y gracias a la creciente popularidad de muchos artistas, algunas obras callejeras han adquirido valores culturales y económicos. En este sentido, el valor de la obra de Banksy radica en su ingenio, misterio, *modus operandi* y lectura como documento histórico contemporáneo. Mientras que los Ayuntamientos de Inglaterra anteriormente eliminaban sus obras, ahora las desean, admiten y protegen; hecho que implica repensar las estrategias para conservar bienes culturales, evaluar sus valores patrimoniales y considerar su inclusión (o no) en la Lista de Patrimonio Nacional de Inglaterra (NHLE). Gracias al estudio epistemológico y a varias visitas de campo, analizamos la relevancia y producción de Banksy en Bristol y Londres, evaluamos el estado actual de diferentes obras suyas y valoramos la posibilidad de inscribirlas en la lista de patrimonio de Inglaterra.

Palabras clave: Banksy, patrimonio cultural, arte urbano, arte contemporáneo, preservación, graffiti

Banksy's street artworks in Bristol and London, a new heritage resource that is difficult to protect

Abstract: Street art has become one of the most identifiable cultural expressions of the 21st century and thanks to the growing popularity of many artists, some street works have acquired cultural and economic values. In this sense, the value of Banksy's work lies in its ingenuity, mystery, *modus operandi* and reading as a contemporary historical document. While English local governments previously removed his works, they now want, accept and protect them; a fact that implies rethinking strategies to preserve cultural assets, assess their heritage values and consider their inclusion (or not) in the National Heritage List for England (NHLE). Thanks to the epistemological study and several field visits, we analyze the relevance and production of Banksy in Bristol and London, evaluate the current state of different works of his and assess the possibility of inscribing them on the heritage list of England.

Keywords: Banksy, cultural heritage, street art, contemporary art, preservation, graffiti

As obras de arte urbana de Banksy em Bristol e Londres: um novo recurso patrimonial difícil de salvaguardar

Resumo: A arte urbana tornou-se uma das expressões culturais mais identitárias do século XXI e, graças à crescente popularidade de muitos artistas, algumas intervenções de rua adquiriram valores culturais e económicos. Neste contexto, o valor da obra de Banksy reside no seu engenho, mistério, *modus operandi* e leitura enquanto documento histórico contemporâneo. Enquanto anteriormente as câmaras municipais de Inglaterra removiam as suas obras, atualmente desejam-nas, reconhecem-nas e protegem-nas — facto que obriga a repensar as estratégias de conservação de bens culturais, avaliar os seus valores patrimoniais e considerar a sua inclusão (ou não) na Lista do Património Nacional de Inglaterra (NHLE). Com base num estudo epistemológico e em várias visitas de campo, analisámos a relevância e a produção de Banksy em Bristol e Londres, avaliámos o estado atual de diferentes obras suas e refletimos sobre a possibilidade de as inscrever na lista de património de Inglaterra.

Palavras-chave: Banksy, património cultural, arte urbana, arte contemporânea, preservação, graffiti

Introducción

Desde hace varias décadas, el Arte Urbano es admitido como una de las variantes o tendencias del arte contemporáneo. Proteger grafitis o la creatividad pública independiente -término empleado por Jaume Gómez (2015: 20) para referirnos a las diferentes manifestaciones artísticas callejeras no reguladas, entre las que se encuentran las obras de arte urbano- puede ser una tarea conflictiva y contradictoria. La historiografía ha considerado que una de sus particularidades esenciales es el carácter efímero debido a los materiales empleados, la ilegalidad, el vandalismo, la falta de espacios libres o la intencionalidad de algunos artistas urbanos que juegan con la degradación de la obra (Amor 2014b: 70). Sin embargo, la realidad ha demostrado que no siempre es así y Estados Unidos, Australia, Alemania, España o Inglaterra han comenzado a considerar algunos de sus grafitis y obras de arte urbano más excepcionales como "patrimonio emergente" (García 1999: 16-33), llevándose a cabo actuaciones de documentación, conservación, restauración o repintado y puesta en valor gracias a equipos multidisciplinares.

A nivel internacional es muy conocida la restauración y repinte de "Crack is wack" de Keith Haring en East Harlem, la conservación de "Totentanz" de Harald Naegeli en la iglesia románica de St. Cäcilien de Colonia o de los murales comisionados de la East Side Gallery en el muro de Berlín (Stiftung Berliner Mauer 2014). En España, el grupo de Arte Urbano y Público del International Institute for Conservation (GEIIC) ha realizado proyectos heterogéneos sobre la preservación de grafitis, arte urbano y muralismo, destacando para nuestro estudio la labor de Amor García, quien ha trabajado previamente la problemática conservación de las obras callejeras de Banksy en Londres (Amor 2014a) y ha identificado en estas valor social, histórico-artístico, antropológico y monetario (Amor 2016: 89). También miembros de este grupo, la restauradora García Gayo fue la principal impulsora de la *Plataforma Muelle*, creada con el objetivo de tutelar una de las firmas del famoso flechero en la Calle Montera de Madrid (García 2017: 171), y la historiadora del arte Luque Rodrigo ha planteado en su artículo "La gestión del arte urbano, ¿Una cuestión pendiente?" en qué lugar se encuentran estas obras dentro del marco legislativo (principalmente español) y cómo podrían protegerse gracias al estudio de casos. Concretamente, Luque habla sobre "Keep it spotless" de Banksy, pintura que fue arrancada del muro y vendida (2020: 90). En esta línea, resultan muy sugerentes las investigaciones desde la Jurisprudencia, destacando una Tesis Doctoral sobre la protección legal del Arte Urbano en Sudáfrica que parte de la difícil conservación de las obras callejeras de Banksy (Rutherford 2019: 95). A propósito de la importancia del derecho de autoría como medio legal para evitar la desaparición de grafitis y obras de arte urbano sin autorización, Bonadio nos expone lo sucedido con los murales de 5Pointz en Nueva York (2020: 14); al igual que lo hace Vicente (2021: 153-174) en su libro

"Los grafitis como obras protegibles", donde la Catedrática de Derecho Civil considera la preservación legal de las obras de Banksy.

Por ende, el creciente interés por Banksy suscita la preservación y el empleo de sus obras como recurso cultural y turístico digno de ser tutelado formalmente [figura 1], pero también plantea problemas derivados de la mercantilización, la gentrificación o su aprovechamiento como recurso económico, derivando en el arranque de muchas de sus obras callejeras (Amor 2016: 89). A estos problemas añadimos el ataque por parte de escritores de grafiti. Pese a que los inicios de Banksy estuvieron vinculados al grafiti de tendencia estadounidense (Antonelli, Marziani & González-Castelao 2022: 56-57), su progresivo acercamiento al Arte Urbano le convirtió en el blanco de escritores que critican el empleo de la plantilla por reducir los riesgos, el valor de la intervención o la misma experiencia (Abarca 2009: 54). Como veremos, el enfrentamiento de Banksy con Robbo a causa del "pisado" (Castleman 1987: 50) también incumplía uno de los códigos éticos y morales no escritos propios de la subcultura del grafiti y ha afectado a la preservación de las obras callejeras del artista de Bristol.



Figura 1.- Cartel promocional en el Aeropuerto de Bristol del Bristol Museum & Art Gallery con "Paint-Pot Angel" de Banksy como uno de los principales atractivos. (Fuente: Autoría propia)

La trayectoria de Banksy ha sido analizada desde múltiples perspectivas (del marketing, artística, social, lingüística, antropológica, publicitaria, turística, jurídica, etc.) debido al interés generado en todo el mundo. La Universidad de Dubai, la Heriot-Watt University o la Royal Commission on the Ancient and Historic Monuments of Scotland de Edimburgo han realizado estudios sobre el "efecto Banksy", la proyección cultural de sus obras o su influjo en el arte callejero. Igualmente, los monográficos de Xavier Tapies (2020) y Ellsworth-Jones (2022) sacaron a la luz muchas de las actuaciones llevadas a cabo para preservar sus obras callejeras. Junto a la cada vez más numerosa bibliografía, sus obras han sido documentadas en su libro "Wall and

Piece" publicado en 2005, en su película-documental "Exit through the gift shop" de 2010, en videofanzines que sube a su canal de YouTube (Banksyfilm 2015; Banksyfilm 2022), en su página web "banksy.co.uk" donde verifica la autoría y licencia de sus ejecuciones, y en su cuenta de Instagram "@banksy" donde las documenta gráficamente.

A diferencia de otras "obras de arte" (basándonos en las acepciones del griego *tékne*: habilidad, saber, astucia, maquinación, intriga, medio o manera), estas obras suelen durar poco tiempo en el lugar que fueron ejecutadas. Sin embargo, este hecho no ha impedido que instituciones públicas y privadas hayan puesto en marcha acciones, en principio sin mucho éxito e inadecuadas (Jackson & Elgueta 2024), para retrasar lo máximo posible la desaparición de las obras urbanas de Banksy. Pero lo más sorprendente es que, en algunas ocasiones, sus obras se han valorado como un bien cultural digno de conservar e inscribir en catálogos patrimoniales.

Por un lado, nuestro estudio revisa y actualiza el estado en el que se encuentran algunas de las obras más conocidas de Banksy en Londres, partiendo de estudios científicos previos, con el objeto de conocer qué propuestas existen en el campo de la conservación/restauración de obras callejeras de esta naturaleza. Por otro lado, trasladamos estas ideas al contexto de Bristol, analizando algunas de las obras realizadas por Banksy en su ciudad natal. Después, analizamos el valor cultural de Banksy y su obra callejera, entendiendo su contexto y potencial patrimonial para que en un futuro próximo pueda ser (o no) inscrita en la National Heritage List for England. Se proponen dos vías posibles para llevar a cabo su tutela formal.

Para realizar esta investigación, hemos utilizado fuentes primarias y secundarias como redes sociales, entrevistas, publicaciones literarias de Banksy, hemerotecas, bibliografía y webgrafía relacionada con grafiti, arte urbano y conservación/restauración del patrimonio cultural. Además, consultamos la normativa estatal inglesa en materia de patrimonio histórico para comprender cómo las obras ilegales de Banksy pueden influir en éste (en aquellos casos en los que se ubican en Monumentos o en sus zonas de amortiguamiento) y para proponer su potencial inclusión en la lista como un bien más merecedor de ser protegido por las instituciones. Para conocer todos los detalles sobre el objeto, realizamos dos visitas técnicas: la primera a Londres en 2022 y la segunda a Bristol en 2023. El objetivo de estas visitas fue evaluar la relevancia cultural del artista en ambas ciudades y el estado actual de sus obras urbanas, contrastando así la información obtenida de las fuentes consultadas. Todo ello nos ha permitido identificar lagunas en la preservación de sus obras, realizar un análisis cualitativo en ambas localidades, proponer buenas prácticas para su futura tutela y plantear nuevos problemas derivados de su ubicación en espacios protegidos por la normativa estatal de Monumentos, cuestión que será abordada en una Tesis Doctoral sobre la transición patrimonial de obras de Arte Urbano. Este

estudio ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia en el marco de un contrato para la Formación de Profesorado Universitario.

La importancia de Banksy en el presente (y en el futuro)

Hablar de Arte Urbano nos obliga a hablar de Banksy. Pese a que se inició en la subcultura del grafiti como escritor, poco después se aproximó a técnicas y modos de proceder propios del arte urbano. Gracias a su *modus operandi* y a su anonimato, el artista de Bristol se ha convertido en uno de los publicistas y artistas contemporáneos más importantes de nuestro siglo. Los datos avalan esta afirmación. Mientras que su fama internacional crece, en 2008, 2019 y 2020 fue seleccionado como uno de los 100 artistas contemporáneos más influyentes según el listado "Power 100" que ofrece anualmente *Art Review* (Art Review 2019). Además, en 2017 dos mil británicos participaron en una encuesta en la que debían decidir cuál era su obra de arte favorita, siendo la más votada "Girl with Balloon" de Banksy (44%), por encima de "El carro de heno" de John Constable (33%) o "El temerario luchador" de Turner (30%) (Samsung Newsroom, 2017). De hecho, en 2018, el artista de Bristol hizo triturar una versión sobre lienzo con un gran marco dorado de su famosa "Girl with Balloon" en la sede de Sotheby's en Londres tras ser vendida por 1,04 millones de libras esterlinas – 1.206.400 euros- (Antonelli, Marizani & González-Castelao 2022: 196). Este acto performático aumentó el valor (económico y artístico) de la obra, convirtiéndole nuevamente en foco de atención de los *mass media*, manteniéndole como uno de los artistas urbanos más apreciados en el mercado del arte.

Las obras de Banksy pueden localizarse en cualquier parte, desde en prestigiosos museos y galerías de arte hasta en apartamentos, garajes y en el espacio público (Antonelli, Marizani & González-Castelao, 2022: 22). Junto a sus exposiciones personales y colectivas, en sus casi cuarenta años de trayectoria ha colocado intencionadamente y con carácter performático obras en el Museo Metropolitano de Arte de Nueva York en 2005, en el Museo de Bristol en 2009 o en la Walker Art Gallery de Liverpool en 2011. No obstante, en este estudio nos vamos a centrar en sus instalaciones, pinturas o esculturas no comisionadas, realizadas libremente en el espacio público sin la intención de que acaben en el mercado del arte o en espacios expositivos regulados.

Pese a provenir de un barrio próspero de Bristol, los comienzos en el grafiti de Banksy tuvieron lugar a inicios de los ochenta del siglo XX en las calles degradadas de Barton Hill junto a Inkie, Robert del Naja (3D) o John Nation, siendo este último quien portó a la ciudad sus conocimientos sobre grafiti estadounidense tras un viaje a Ámsterdam, una de las primeras ciudades europeas en conocer la nueva ola (Gómez 2015: 373). Entonces, el grafiti moderno o Hip-Hop había evolucionado tras dos décadas de desarrollo desde Cornbread en Filadelfia y

otros muchos como Taki 183 en Nueva York, sumándose al grafiti autóctono que ya existía en muchas ciudades del mundo^[1]. En paralelo, el emergente arte urbano suponía una mayor implicación del individuo con su contexto y cuyos medios evidenciaban un contacto directo con el mundo del arte o la publicidad (Abarca 2016). Así, el *Street Art* se fue popularizando internacionalmente gracias a diferentes focos artísticos como Nueva York o París, y gracias a la generalizada confusión de la crítica artística que instrumentalizó la obra de Keith Haring o Basquiat para dotarles de un aura rebelde y exótico que no era frecuente en las galerías tradicionales. De este modo, unos artistas urbanos exploraban las calles como medio para acceder a las galerías; otros compaginaban su trabajo en ambos escenarios; y algunos permanecían exclusivamente en las calles como Blek le Rat (pionero en Europa en pintar ratas estarcidas por las calles parisinas^[2]), quien insistió en un artículo del periódico *Independent* en el papel democratizador del Arte Urbano por transformar la calle en galería y ser accesible a todos los públicos (Philby 2008).

Conocido también por llenar las calles de ratas estarcidas, este afán democratizador del arte resume la evolución de Banksy. Sus primeras obras en Bristol fueron realizadas con plantilla y con aerosol a mano alzada como evidencia un bulldog o un jabalí desteñido en el Barton Hill Youth Centre y "The Mild Mild West" (1999) [Figura 2], donde un oso de peluche lanza un cóctel molotov a tres policías en alusión a los disturbios raciales de St. Pauls de 1980. Por primera vez en 2003, Banksy dio el paso a la galería londinense a la vez que intervenía de forma ilegal o sin permiso explícito en las calles. Desde entonces, no ha dejado de realizar performances en el espacio urbano pintando estarcidos o plantillas (para transferir un diseño con pintura en aerosol) en muros y medianeras, animales, pavimentos, barcos, automóviles o esculturas, así como ejecutando instalaciones sirviéndose del equipamiento urbano, peluches, hachas, flores, tuberías o cabinas telefónicas.

Si analizamos detenidamente su producción, son varios los factores que se repiten. Por un lado, predomina el riesgo, la llamada de atención al paseante y la temática social y subversiva. Son muy recurrentes las plantillas de niños inocentes con objetos inapropiados (bombas y máscaras de gas), monos, inmigrantes, indigentes o figuras eclesiásticas y agentes del orden en situaciones controvertidas (policías besándose o esnifando pintura, guardias de la Casa Real orinando o pintando grafitis) (Dogheria 2014: 30). Asimismo, debemos considerar sus performances reivindicativas en el Carnaval de Notting Hill en 2004, donde el artista distribuyó billetes al público en los que sustituía el rostro de Isabel II por el retrato de la princesa Diana de Gales (Banksy Explained, 2021), o veinte años después en el festival Glastonbury, cuando durante la actuación del grupo Idles apareció entre los espectadores una balsa salvavidas con muñecos migrantes (BANKSY, 2024). Con ellos busca criticar los abusos de la autoridad, la adicción a las tecnologías, la pobreza, la guerra, la xenofobia, el capitalismo y el antropocentrismo, motivo por el que hay quienes consideran su obra como neo-neodadaísta (Moriente 2015: 34). Es más, su modo de proceder es en sí mismo una declaración de intenciones, denunciando el férreo control del Estado al intervenir de forma arriesgada frente a cámaras de seguridad o indicaciones de "Prohibido pintar".

Por otro lado, no podemos eludir el vínculo entre la temática de sus obras y el contexto histórico, social y espacial, pues no se entendería su "This is not a photo opportunity" sin conocer su ubicación en las inmediaciones de la Torre Eiffel o el Big Ben, cuestionando la tendencia contemporánea de digitalizar fotográficamente cada instante. A propósito de ello, el carácter bélico y juicioso de su serie "Holiday snaps" en el lado palestino de la barrera de Cisjordania o sus obras en Belén, Beit Sahour, Gaza y Ucrania evidencian su consideración como inmuebles pues su localización les añade un valor añadido y suponen un documento material de nuestra historia reciente.



Figura 2.- Banksy, *The Mild Mild West* (1999), Stokes Croft de Bristol. (Fuente: Autoría propia)

Así como “Flower Thrower”, “Boy at the beach” o “Girl searching soldier” han sido detenidamente estudiadas por su mensaje combativo en relación con el contexto conflictivo en el que se ubican (DeTurk 2015: 25; Martini 2009: 7), vamos a finalizar este apartado deteniéndonos en sus obras urbanas en Ucrania durante el primer año de guerra con Rusia en 2022. El 22 de febrero Rusia ocupó Ucrania y, mientras el número de fallecidos y de ciudades derruidas aumentaba, Banksy decidió en noviembre trasladarse a las calles ruinosas de Borodyanka, Hostómel o Kiev. En su cuenta de Instagram el artista publicó fotografías y un vídeo donde presenta siete obras y a ucranianos interactuando con ellas (BANKSY 2022). Entre las ruinas, ejecutó un anciano en una bañera, una señora mayor con una máscara de gas, dos bailarinas, dos niños en un balancín, tanques o un niño que hace una llave de judo a un judoca más mayor -clara alusión a la esperanzadora victoria de Ucrania frente a la poderosa Rusia, cuyo presidente ha declarado ser un fan del judo-. Estas obras han impactado en la memoria colectiva ucraniana, de ahí que Oleksandr Tkachenko (Ministro de Cultura y Política de la Información ucraniano) manifestase en diferentes medios que serán conservadas (Korogodskyi 2023). Debido a intentos previos de robo, el gobierno ha instalado un sistema de seguridad de alta tecnología que protege las pinturas, conformado por un vidrio especial resistente a impactos, cámaras de seguridad inalámbricas para alertar a las autoridades en el caso de que se pretendan alterar o robar, y un sensor de calidad para medir la temperatura y humedad de las obras (Novak 2023). Además de estas medidas de seguridad que tienen como objetivo proteger las obras, el servicio postal ucraniano eligió la intervención del niño versus el judoca como sello postal oficial de 2023 para conmemorar el aniversario del conflicto bélico.

A priori no parece que Banksy actúe con la intención de que la materialidad de sus obras perdure en el tiempo, aunque aún así muchas han sido intervenidas con tal fin. En esta línea, su obra alusiva a los atentados terroristas de 2015 en París y ejecutada sobre la puerta de emergencias de la sala Bataclán fue robada y devuelta en 2020 al Estado francés por el gobierno italiano el Día Nacional de Francia (Rizhlaine & Caroline 2020). Este hecho evidencia que la resignificación de sus obras y su conversión en un recurso (principalmente cultural, turístico y económico) ha provocado que entren en peligro. Entre la decena de casos que podríamos mencionar, “Níobe” fue malvendida por su propietario por 200 dólares -179,90 euros- y el gobierno ucraniano ha multado con 12 años de prisión a quienes en enero de 2023 intentaron robar un mural de Hostómel valorado en 9 millones de hryvnias –aproximadamente 225 mil euros- (Rodríguez 2023). Estos acontecimientos suponen un punto de inflexión en la ciencia del patrimonio, porque hablamos de obras de arte contemporáneo que poseen cierto carácter ilícito y libre, con valores culturales reconocidos y ausentes de protección desde el punto de vista patrimonial.

La problemática preservación de las obras callejeras de Banksy en Londres y Bristol

Como señalamos anteriormente, el interés por preservar y poseer una obra pública de Banksy, así como su resignificación patrimonial en términos de Balaguera (2016: 91), se deben a la asimilación social, al valor artístico y al valor económico que sus instalaciones, cuadros, impresiones, plantillas, performances, etc., presentan en el mercado del arte y en la sociedad. Es por ello que Inglaterra ha experimentado un cambio en la apreciación del artista y si previamente agentes públicos y privados mostraron una aversión inicial contra las manifestaciones de graffiti y arte urbano en general, actualmente promueven la protección de las obras de Banksy, motivo por el que en Folkestone, Port Talbot y, muy especialmente, en Londres y Bristol se han llevado a cabo diferentes actuaciones para evitar su desaparición.

Era de esperar que la incipiente popularidad de Banksy y su éxito en los mercados del arte conllevara al arranque, traslado y venta de sus obras en el espacio público. En este sentido, “Art Buff” (2014), ubicada en el lateral de una sala de juegos cercana a Payers Park en Folkestone, apareció durante una noche de septiembre en el transcurso de la Creative Folkestone Triennial, pero a las semanas fue arrancada por un marchante de arte llamado Barton y vendida a la Miami Art Fair (Artlyst 2014). En septiembre de 2020, la obra salió a subasta con un precio de salida de 750.800 libras esterlinas -890.189,46 euros- y, como afortunadamente no se vendió, el millonario Sir Roger de Hann y la Folkestone’s Creative Foundation iniciaron una difícil batalla legal para adquirir la obra y devolverla a la Old High Street (Ellsworth-Jones 2022: 199). Más problemático aún fue “Season’s Greetings” (2018) en Port Talbot, ubicada sobre el ángulo de un muro propiedad de Ian Lewis. Desde que anunció en su página web la autenticación de la obra, el gobierno galés, junto con investigadores de la Universidad de Suffolk, buscó protegerla y pagó £123.099,95 -146.060 euros- a un guardia de seguridad a tiempo completo (Drury 2018). Pero en febrero de 2022 el muro de seis toneladas y media fue arrancado y trasladado a la estación de policía de Ty’r Orsaf por mandato del gobierno galés, quien sufragó los gastos (£50.000 -59.292 euros-) junto al actor británico Michael Shenn (Sharrocks 2023). El objetivo fue crear un centro de Arte Urbano en la ciudad junto a “Hula Hop” (2020), otro mural de Banksy aparecido en Nottingham y comprado por el marchante Brandler (Ellsworth-Jones 2022: 77).

Asumidas las debilidades y fortalezas que presenta la custodia de la obra callejera de Banksy, debemos destacar sus contribuciones en Londres y Bristol, pues gozan de más obras y, a su vez, han buscado mediante diferentes medios evitar su desaparición. Para ello, identificamos un elenco de obras en ambas ciudades cuya materialidad ha sido preservada, basándonos en los datos ofrecidos por la página web “Art of State” creada por el fotógrafo Steve Cotton como archivo y blog personal desde 2001^[3]. Posteriormente, analizamos cada caso desde las disciplinas de la Conservación y Restauración de Bienes Culturales y de la Historia del Arte.

Gran parte de la obra callejera de Banksy se encuentra en la capital inglesa, motivo por el que su estudio merece ser diferenciado. Comenzó a producir obra en Londres en 2002 y su apreciación internacional fue creciendo hasta 2010, cuando fue publicado el documental *Exit Through the Gift Shop* que le hizo saltar a la fama. Desde entonces, no ha dejado de actuar en la ciudad y lo evidencian las más de cincuenta obras suyas que hemos podido identificar en las fuentes consultadas desde ese año hasta la actualidad (Art of the State 2024). Su legado se ha convertido en un atractivo más de Londres junto al de otros artistas callejeros como D*Face o el famoso colectivo de escritores The Chrome Angelz. No obstante, la indiferencia del artista con respecto a la preservación de sus obras urbanas –agente clave a la hora de intervenir sobre la materialidad de una obra de arte urbano^[4]– ha provocado que muchas de ellas desaparezcan, como “One Nation Under CCTV” (2007) o “Tox” (2011). Este hecho no nos sorprende. Ya en su famoso “Tourist Information” (2004) en Londres banalizó la mercantilización del Arte Urbano al representar a un artista callejero que pasa de ser un personaje aislado de la sociedad a un punto de interés para visitantes. Pero el efecto Banksy ha ido muy lejos y ha motivado la protección con marcos aislantes (probablemente por desconocimiento) incluso de imitaciones de su estilo, como ha sucedido con un mural bicromo realizado en 2012 con dos plantillas en Oval Road (Getzels 2012). Partiendo de este juego lleno de contradicciones, agentes y lucha de intereses, vamos a analizar algunos casos diferentes entre sí para valorar su estado y las acciones llevadas a cabo para su preservación material.

En febrero de 2008 realizó “Fisher Boy” sobre un muro blanco y junto a una señal de emergencias, donde presenta a un encapuchado joven pescador y un cubo con asa para portar el pescado [Figura 3]. Cuatro años después de su realización, la obra fue repintada en negro por un desconocido (Art of the State 2024), y durante nuestra visita técnica hemos evidenciado la presencia de moho verde, la pérdida de color del esmalte empleado (destacando el casi desaparecido cubo) y la parcial descohesión de la capa de imprimación. Además, su delimitación con un corte superficial sugiere que se ha intentado arrancar en alguna ocasión. Otro intento de perpetuar la materialidad de una obra de Banksy lo encontramos en “London Doesn’t Work Placard Rat”, publicada en su libro *Wall and Piece* (Banksy 2005: 88). Fue ejecutada con plantilla aproximadamente en 2005 y mantenida por los propietarios del edificio, quienes desde hace casi 20 años han repintado la fachada sin tapar la obra. Supone una de las señas de identidad de Banksy ya que representa a una de sus famosas ratas, similares a las de Blek le Rat, portando un collar con el símbolo de la paz y un cartel cuyo mensaje ha sido alterado con los años (en origen incluía la frase “London doesn’t work”, luego “I [love] London Robbo”) (Google Maps 2024). De nuevo, la obra se ve afectada por la pérdida parcial de la capa de imprimación y de la policromía, la humedad y el vandalismo.

Londres acoge casos excepcionales en los que obras de Arte Urbano han sido cubiertas con mamparas de polimetilmetacrilato denominadas Perspex®. Estas láminas podrían ser óptimos sistemas de protección siempre que

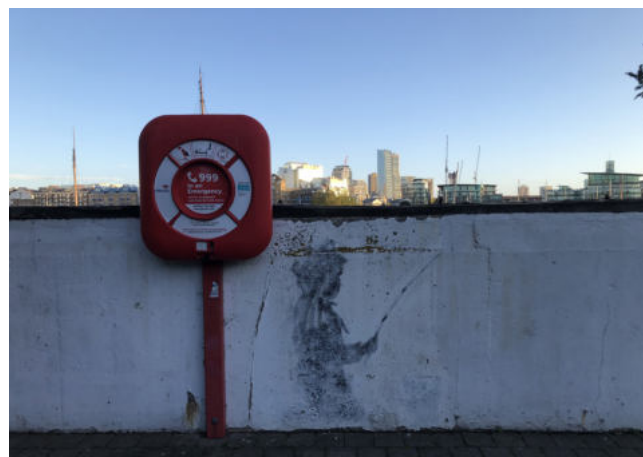


Figura 3.- Banksy, *Fisher Boy* (2008), Bermondsey Wall de Londres. (Fuente: Autoría propia)

estén bien unidos al soporte o cuenten con orificios por los que poder transpirar y entrar el aire, pero como señala Amor García, también causan problemas al condensar la humedad entre el muro y la mampara debido a la filtración directa, el ascenso de la humedad por capilaridad o la humedad relativa del ambiente londinense (2014a: 65).

Ubicada junto a una farmacia de Essex Road, en “Very Little Helps” (2008) Banksy se sirve del contexto y aprovecha un cajetón de la luz que hace de asta para representar a tres *boy scouts* que hondean una bolsa de Tesco, marca de supermercados famosa en Reino Unido. El mural lo componen dos chicos y una chica realizados con tres plantillas y la bolsa de Tesco pintada a mano alzada. Los jóvenes han sido cubiertos por la lámina protectora, hecho que evidencia la falta de comprensión de la obra en su conjunto al dejar fuera a la bandera, hoy desaparecida. Por otro lado, el Perspex® dificulta su visibilidad, entre otros problemas ya analizados previamente por Amor (2014a: 63). Fue cubierta por la lámina pocos meses después de su ejecución (Matthews, 2009), aunque esto no evitó que deviniese diana para escritores y detractores de Banksy. Una de las reglas no escritas del grafiti consiste en no pisar las piezas de otros escritores. Sin embargo, el artista de Bristol –que no escritor de grafiti– tapó en 2009 una pieza muy singular de 1985 en Regent’s Canal realizada por Robbo (1969-2014), uno de los escritores pioneros en el metro londinense (Moriente 2015: 41). Esto dio lugar a un continuo enfrentamiento entre ambos y quienes simpatizaron más con Robbo adoptaron su nombre para alterar obras de Banksy mediante la firma “King Robbo” o “Team Robbo”. En este caso, la firma de “King Robbo” aparece bajo la bandera, tapada con pintura blanca.

Asimismo, en 2017 aparecieron dos obras de Banksy en el túnel del Barbican Centre que homenajeaban a Jean Michel Basquiat, fusionando su particular estética con la del estadounidense. En “Ferris Wheel” representa sobre un fondo negro a unos niños estarcidos que quieren subir a una noria compuesta por cabinas con forma de coronas típicas de Basquiat. El otro mural, “Basquiat Welcomed by the Metropolitan Police”, representa a dos policías estarcidos

que registran a un joven negro acompañado de un perro, correspondiéndose con la obra de Basquiat "Boy and dog in a Johnnypup" (1982) de la Peter Brant Foundation de Greenwich. A la izquierda, un joven Basquiat mucho más esquemático parece huir de los policías con una corona y sobre un patinete. Ambas obras fueron protegidas con Perspex®.

Sin duda, el grafiti, el Arte Urbano y el muralismo han situado a la ciudad de Bristol como referente internacional gracias a escritores y artistas contemporáneos como 3D, Inkie, Z-Boys, FLX, Nick Walker y, sobre todo, Banksy. Por este motivo, las instituciones públicas han aceptado de buen grado el carácter alternativo y moderno que estas expresiones artísticas ofrecen a la ciudad, convirtiéndolas en recursos patrimoniales y turísticos y en parte de su identidad cultural. Este hecho lo evidencian las múltiples guías turísticas, aplicaciones para teléfonos móviles como "Banksy Bristol Trail", tours y otros recursos destinados al conocimiento (e instrumentalización) del arte callejero bristoliano y del enigmático Banksy (Visit Bristol 2024). En este sentido, Bristol se presenta como una ciudad abierta al grafiti, al arte urbano y a otras manifestaciones subculturales, y fomenta exposiciones (MSHed 2021) y festivales de muralismo, como el See No Evil o el Upfest, fundado en 2008 y considerado el festival de *Street Art* más grande del mundo (Domínguez 2021: 32; Up Fest 2024), que han transformado inmuebles, calles y barrios en galerías al aire libre como sucede en Stoke's Croft.

Las instituciones públicas, voluntarios y propietarios de edificios privados han procurado mantener –sin un criterio específico– la materialidad de algunas de las obras de Banksy por ser local y uno de los artistas contemporáneos con mayor proyección internacional, de modo que vamos a analizar algunas de sus obras para comprobar qué estrategias se han seguido para alcanzar tal fin y cuál es su estado actual. Debemos señalar que para identificar sus obras en Bristol hemos tenido que recurrir a otras fuentes (bibliografía, webs de arte urbano en Bristol o redes sociales de Banksy), ya que el mapa ofrecido por "Art of State" sólo incluye cinco obras de las cuáles tres ya han desaparecido.

Con respecto a las obras de Banksy en Bristol que no se encuentran en el espacio público –más allá de las desconocidas abejas que pintó en el interior de la tienda de tatuajes Pierced Up alrededor de 1998 (y que hoy aún se conservan)–, una de las más difundidas ha sido "Paint-Pot Angel". Esta se ubica en el *hall* de acceso al Museo de Bristol y ha permanecido como recuerdo de la famosa exhibición del artista en el museo de la ciudad, titulada "Banksy versus Bristol Museum" y realizada en el verano de 2009 (Bristol Museum 2009). Junto a esta, el museo del puerto M. Shed cuenta con "The Grim Reaper" [Figura 4], obra que en origen fue pintada en mayo de 2003 sobre el casco del Thekla, barco en el que se organizaban fiestas. La relación con el contexto es relevante, ya que este se encontraba amarrado al puerto de Bristol, conocido internacionalmente por el comercio de la trata de esclavos en el siglo XVIII (de ahí la temática abordada por Banksy). Aprovechando el deterioro de la pintura y que el dique estaba seco, en 2015 la obra fue prestada a largo plazo por los dueños

del barco, DHP Family, arrancada y trasladada al museo del puerto donde hoy es expuesta. Las labores de conservación efectuadas fueron realizadas por el IFACS (International Fine Art Conservation Studios) (Curtis 2015; Guerrero 2015), quienes durante seis meses se encargaron de resolver los problemas de delaminación de la pintura, corrosión y acumulación de sedimentos, además de efectuar una limpieza o diseñar una estructura de acero que mantiene la obra en vertical y protegida por un vidrio laminado de baja reflectividad.



Figura 4.- Banksy, *The Grim Reaper* (2003), Museo del Puerto de Bristol. (Fuente: Autoría propia)

Una de las obras callejeras de Banksy con mayor aceptación social es "Naked Man Hanging From Window" (2006), ubicada en un lateral de la Brook Sexual Health Clinic y del Park Street Viaduct. Muestra a un hombre desnudo colgando del alféizar de una ventana mientras que el posible marido de la mujer infiel busca al amante de forma vanidosa. Este trampantojo realizado con plantilla es un ejemplo de la dificultad que presenta conservar las obras de Banksy, especialmente por las alteraciones humanas que han desfigurado el mural y por su mantenimiento pese a localizarse en un edificio protegido (problemática que analizaremos más adelante). Pese a ello, en 2006 el concejo de Bristol encuestó a la ciudadanía en un foro online –AskBristol– para que aprobase o desestimase el borrado del mural ilegal, apoyando su preservación un 97% de los participantes y, entre ellos, el concejal y defensor de conservar las obras de Banksy, Gary Hopkins (BBC 2006). Por ende, el amante colgado pasaría a ser la primera obra de Arte Urbano "legal" de Reino Unido (Tapies 2020: 68). Inmediatamente, el foco de amenazas cambió pues la valoración favorable de las instituciones provocó el rechazo de los escritores que decidieron vandalizar el mural^[5]. Así, "Naked Man" fue atacada con una pistola de paintball el 22 de junio de 2009. Tras ser retiradas tres de las siete manchas azules por un equipo no especializado, el mural volvió a ser desfigurado en 2018, esta vez con firmas negras de "Kapes" y "Soak" ejecutadas con rodillo y pértiga (Smith 2018). Asimismo, la falta de imprimación y de mantenimiento ha provocado la desaparición parcial de la policromía, especialmente del rojo que en origen conformaba las cortinas.

El amante colgado se ha convertido en uno de los principales atractivos turísticos de la ciudad según las autoridades locales (Visit Bristol 2024), junto al ya mencionado "The Mild Mild West" (1999) [Figura 2], mural realizado con plantillas y a mano alzada y elegido en 2007 obra alternativa de Bristol (Morris 2007). Su temática subversiva (representando el enfrentamiento entre los antidisturbios y los asistentes de la fiesta ilegal en Winterstoke Road en la víspera de Año Nuevo de 1997 y 1998) consiguió que Banksy se ganase el respeto del vecindario de Stokes Croft y que los residentes se disgustasen cuando la obra fue vandalizada por el grupo activista Appropriate Media con pintura roja en abril de 2009, acción con la que pretendían criticar la gentrificación del barrio (BBC 2009a). Este acontecimiento supuso una declaración de intenciones por parte de los detractores de Banksy y, al mismo tiempo, por parte de la ciudadanía que evidenció el valor social de esta obra y su artista. El mural fue limpiado por Chris Chalkley, presidente del grupo vecinal People Republic of Stokes Croft (This is Bristol 2009), pero tres meses después volvió a ser desfigurado, esta vez con pintura azul (PRSC, 2009). De este ataque restan manchas de pintura en la parte superior del mural y en el muro adyacente, donde además puede detectarse una cámara de videovigilancia. El mural no cuenta con ninguna lámina protectora pese a la intención del propietario del inmueble Gavin Carpenter – con propósitos explícitamente especulativos- (Morris 2007). Además, se están perdiendo las letras estarcidas que señalan a Banksy como su autor.

Junto a las mencionadas alteraciones causadas por el factor humano en ambos casos, habría que sumarle los factores ambientales propios del contexto geográfico (frecuentes lluvias, humedad media anual entre el 74% y el 87% y una temperatura media anual entre los 3°C y los 21°C) o la falta de imprimación y barnices apropiados que protejan las obras a la intemperie. Esto no siempre es un problema, ya que en el Arte Urbano es frecuente que las obras se alteren, se modifiquen o desaparezcan porque así lo dicten los materiales o su autor. Las obras callejeras son creaciones cuya vida comienza cuando el autor las ejecuta e interactúan con su contexto. En este sentido, "You don't need planning permission to build castles in the sky" (2011) es una composición de letras estarcidas que sigue una línea curva en 2,5 metros de longitud, ubicada en la parte trasera de la Biblioteca Central de Bristol. La obra ha sido alterada al abrirse dos vanos –en uno de ellos se simula incluso la pared de ladrillo– e incorporarse apliques que dan luz exterior. Sobre estos se han repintado las letras y se ha instalado una cámara de videovigilancia, acto que enfatiza aún más el carácter performático, subversivo y conceptual de la obra contemporánea. Por ende, más de la mitad de la composición ha sido repintada y ha resistido al borrado, a diferencia de las firmas y pompas que le rodeaban.

Con respecto a la instalación de cámaras de videovigilancia para preservar sus obras urbanas, "Valentine's Day" (2020) es uno de los casos más polémicos. La composición fue realizada el 13 de febrero de 2020 y la conforman una niña encapuchada que arroja desde un tirachinas pétalos rojos que causan una explosión floral utilizando hiedras pintadas.



Figura 5.- Banksy, *Valentine's Day* (2020), Barton Hill de Bristol. (Fuente: Autoría propia)

Al día siguiente, la familia del propietario del inmueble decidió cubrir con Perspex® a la niña estarcida para protegerla de la tormenta Dennis (BBC 2020), habiendo sido robada ya parte de las hiedras y olvidando el dueño que el complemento floral también formaba parte de la obra. A este hecho le siguieron en menos de 24 horas nuevos ataques, como el arranque de la lámina y la desfiguración del estarcido con aerosol. Por este motivo, los propietarios del soporte añadieron cercas temporales, instalaron cámaras y cubrieron de nuevo la composición –esta vez, ya completamente–, incluyendo planchas de madera para la cubrición de la niña con tirachinas (Lewis 2020). Como resultado, la falta de transpiración a causa de la mala instalación de la lámina y del marco aislante ha condensado la humedad en el Perspex® como evidencia la explosión floral, provocando el deterioro y la pérdida de la visión general de la obra. Posteriormente, la obra ha sido de nuevo vandalizada por el Team Robbo, y el ingenio callejero gracias al artista Peachy le ha dado una segunda vida con un estarcido de un operario que simula romper el Perspex® y las planchas de madera, tal vez para liberar a la inocente niña [Figura 5].

Para evitar el vandalismo, los vecinos de Thomas St North aislaron el estarcido "Rose on a Mousetrap" (2004) con Perspex® y un marco aislante. Este ha generado moho y humedad en la obra, pero consiguió que no fuese desfigurada por un ataque en 2020 (Farell 2020). Sin embargo, hemos visto que no todas las obras de Banksy han tenido la misma suerte. Por ejemplo, "Girl with a Pierced Eardrum" (2014) fue realizada en un callejón sin salida de Spike Island, concretamente en el lateral de un estudio de grabación de Hanover. En ella reinterpreta la brillante "Joven de la perla" de Vermeer pero sustituye su pendiente por una caja hexagonal amarilla del sistema de alarmas ACT. En menos de 24 horas la obra fue atacada con pintura negra (Stevens 2020) y, como podemos ver hoy, la acompañan plantillas y firmas. Para evitar su mayor degradación se colocó una valla que procura sin éxito impedir el acceso al callejón.

Por último, debemos mencionar dos casos en los que las obras han desaparecido parcial o totalmente. El primero se corresponde con "Take the money and run" (1999), con un claro influjo del grafiti norteamericano y que realizó durante sus primeros años junto a Inkie y Mode2 (Antonelli, Marziani & González-Castelao 2022: 58) sobre un muro adosado a la Jhoots Pharmacy Montpellier. Este ha sido tapado por una

pompa aunque aún pueden verse algunas partes del mural. Por otro lado, “¡¡¡Aachoo!!!”, pintado en diciembre de 2020 en el lateral de una casa adosada de Vale St. de Totterdown, aprovechaba los veintidós grados de desnivel que presenta la calle. En esta obra Banksy retrató ingeniosamente a una mujer que de un estornudo pierde su dentadura. Una vez verificada su autoría, el fabricante de muebles Fred Loosmore y Sam Hunt cubrieron la obra con Perspex® (Walker 2020), pero esta medida no fue suficiente para evitar su desaparición y en marzo de 2021 fue arrancada y vendida por petición de los propietarios (Patel 2021).

Visto esto, podemos afirmar que las estrategias llevadas a cabo para preservar la obra callejera de Banksy en Londres y Bristol no han sido adecuadas. Pese a que el empleo de Perspex® ha salvado a muchas de las obras de ser vandalizadas, ha afectado en su contemplación, ha generado problemas de humedad y ha olvidado los valores inmateriales y performáticos que se escapan al simple estudio de la materialidad. No obstante, hemos evidenciado que existe un importante valor social hacia su producción artística, el cual ha conseguido que algunas obras sean admitidas, mantenidas e intervenidas por la ciudadanía y las instituciones públicas. Asumidos sus valores culturales, a continuación, vamos a valorar el registro de estas obras en la Lista de Patrimonio Nacional de Inglaterra.

¿Es posible la tutela formal de las obras analizadas?

Al inicio del artículo hemos manifestado las dificultades que presenta tutelar obras de arte urbano, incluso aquellas con valores culturales que han vivido una resignificación y que son identificadas como “en transición patrimonial” (Castillo 2022: 66). No obstante, Susan Hansen señala que en Australia fueron inscritos en su lista de patrimonio murales de Keith Haring y Mike Brown, en tanto que en Alemania las autoridades han empleado medidas de protección de bienes culturales para obras de Blek le Rat y Klaus Paier (2018: 32). Con esta aproximación hacia la difícil preservación material de la obra callejera de Banksy, se propone evaluar cómo sería posible la inscripción y protección formal de sus obras en Bristol y Londres en la National Heritage List for England (NHLE). Esta lista agrupa los bienes patrimoniales que son protegidos por las instituciones públicas inglesas, conformada por monumentos, naufragios protegidos, parques y jardines, campos de batalla y todos los edificios –incluido el interior–, junto a otras estructuras y accesorios adjuntos, extensiones o adiciones posteriores y edificios anteriores a 1948 en terrenos anexos al edificio (Historic England s.f.). Asimismo, en Inglaterra y Gales los Monumentos son clasificados en tres grados: Grado I (construcciones de excepcional interés), Grado II (construcciones de especial interés garantizando su preservación y cuidado) y Grado II* (construcciones particularmente importantes y superiores a las de especial interés).

La posible protección formal de las obras de Banksy podría efectuarse con su declaración como Monumentos o

como adición a otros, en cualquier caso con un régimen de protección específico (Grado II) y consideradas como inmuebles por su importante valor contextual. Es más, el planeamiento urbanístico de Bristol ya considera la adición de este tipo de obras a Monumentos, como podemos ver en el apéndice 2 “The Bristol Local List Selection Criteria” de *The Bristol Local List* (2020), donde se identifican diferentes intereses: arquitectónicos, históricos, arqueológicos, artísticos, valor comunitario u otros factores. De ellos destacamos el artístico, pues plantea la posibilidad de considerar como protegible una obra de arte urbano (C1), de un artista reconocido (C3) o de naturaleza temporal (C5) (Bristol City Council 2020: 83).

La justificación de su tutela formal se fundamenta en la importancia que tienen algunas de las obras previamente analizadas en la historia del ya consolidado Arte Urbano; en la acumulación de valores culturales, significados y aprovechamientos singulares; y en el desarrollo y trayectoria de Banksy como uno de los artistas contemporáneos más relevantes. Esta declaración formal de obras de Arte Urbano debería servir como precedente para considerar además la protección formal de obras de Banksy en otros países y, por qué no, de otras obras de arte callejero con valores patrimoniales en ambas ciudades debido a su relevancia en el desarrollo del grafiti y del arte urbano (Berti 2009: 55).

En primer lugar, existen obras de Banksy en Reino Unido que ya han sido incorporadas en listas y catálogos patrimoniales locales. “Art Buff” forma parte de los bienes patrimoniales de Creative Folkestone y está inscrita en su catálogo, donde incluso la organización benéfica asume que su valor cultural está por encima del monetario (Creative Folkestone 2023: 28). Pero la única obra de Banksy que ha sido inscrita en la NHLE fue “Spy Booth” (2014) en Cheltenham, ciudad en la que se encuentra el cuartel general de espionaje del gobierno (GCHQ). Con ella Banksy se burla de los espías mediante una instalación en la que la pintura se une a una cabina telefónica. Desde el principio surgieron inconvenientes en torno a su preservación, pues fue ejecutada en el lateral de The Georgian House, monumento inscrito en la lista con Grado II de protección (Historic England s.f.). Contra todo pronóstico, en lugar de eliminar la performática obra de Banksy por dañar un bien cultural, el Ayuntamiento decidió protegerla con trozos de madera y solicitó su incorporación a la declaración de la casa georgiana para evitar así su deterioro, arranque y venta (Hansen 2018: 31; BBC 2015). Pese a que la respuesta fue favorable y “Spy Booth” fue admitida como adición al Monumento y resguardada por un vigilante nocturno (pagado por la comunidad local), la obra fue primero robada por el ya mencionado Barton, después recuperada, desaparecida a causa de una reforma en la Casa Georgiana^[6] y finalmente vendida (Ellsworth-Jones 2022: 199; Hansen 2018: 32; Carrol 2021).

Con respecto a las obras de Bristol y Londres analizadas y que han sido mantenidas por la comunidad local y por las instituciones públicas, podemos identificar aquellas que han sido realizadas sobre un bien inscrito en la NHLE o que

se encuentran en su zona de amortiguamiento, y por ende recibe la misma protección que el objeto patrimonial. “Ferris Wheel” y “Basquiat Welcomed by the Metropolitan Police” se encuentran en el túnel del Barbican Centre, protegido por la Westminster City e inscrito con el Grado II* de protección. Asimismo, “Naked Man Hanging From Window” se ubica en un lateral del Park Street Viaduct, inscrito en la lista con Grado II [Figura 6], y “You don’t need planning permission to build castles in the sky” fue pintada y repintada en la parte trasera de la Biblioteca Central, inmueble que recibe el Grado I de protección. En este sentido, podríamos además considerar “From this moment despair ends and tactics begin” (2019), obra atribuida a Banksy y realizada a escasos cuatro metros del Marble Arch. Pese a que Banksy no ha confirmado su autoría, las autoridades de Westminster cubrieron la obra con Perspex® y un marco aislante que, de nuevo, ha afectado negativamente en su conservación. Pero lo novedoso y controvertido de este acto es su intencionada preservación pese a encontrarse en la zona buffer o de amortiguamiento del Marble Arch, arco de triunfo neoclásico construido en 1828 por el prestigioso arquitecto historicista John Nash e inscrito en la NHLE con el Grado I como régimen de protección.

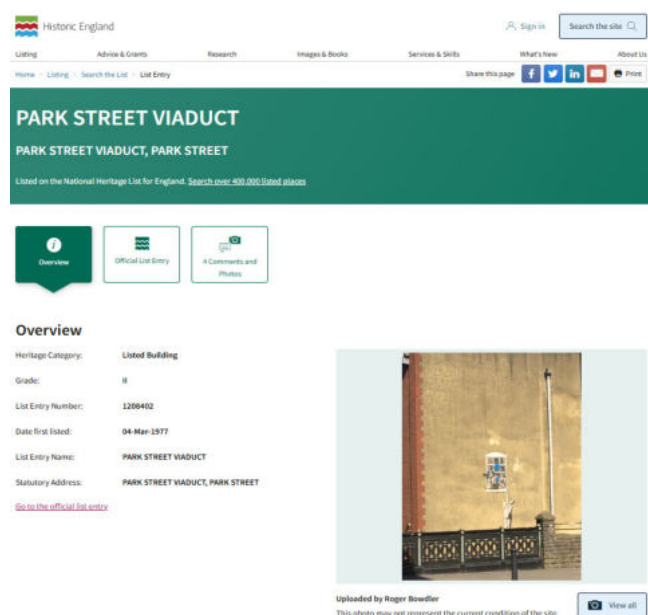


Figura 6.- Entrada del Park Street Viaduct en el catálogo de la National Heritage List for England con la obra de Banksy “Naked Man Hanging from Window” de Bristol. (Fuente: <https://historicengland.org.uk/listing/the-list/list-entry/1208402>)

Junto a estos, deberíamos considerar la posible protección formal de “The Mild Mild West” en Bristol por su antigüedad, por su singularidad en la trayectoria de Banksy y en el Arte Urbano y por sus valores patrimoniales. Siguiendo la individualización de valores culturales que plantea The Getty Conservation Institute de Los Ángeles (De la Torre 2002: 11-13), podemos determinar que esta obra cuenta con:

— Valores económicos: “The Mild Mild West” ejemplifica el valor de no uso (*Nonmarket Value*), pues los individuos de un

determinado territorio han demostrado estar dispuestos a invertir recursos para proteger el mural.

— Valores socioculturales: Son aquellos que tienen un significado para una persona o grupos sociales, debido a su antigüedad, belleza, artísticidad o asociación con una persona o evento importante, contribuyendo a procesos de afiliación cultural. En esta obra destacamos: valor histórico, por estar asociado a acontecimientos históricos y por su potencial valor documental, educativo/académico y artístico; valor cultural/simbólico, por estar relacionado con acontecimientos políticos e históricos que generan afiliación cultural en un grupo de individuos. La obra contribuye en la conexión de la vida cívico/social y el entorno físico, estimulando un tipo de reflexión positiva y un comportamiento político que sostiene y construye relaciones civiles y de protesta; valor social, al generar apego social (*place attachment*) e identidad comunitaria a diferentes escalas –la población de Stokes Croft, Bristol y Reino Unido–; y valor estético, por ser una muestra singular de la producción de un artista reconocido durante los inicios del arte urbano.

Para protegerla de manera individualizada, primero habría que incorporar el arte callejero como una nueva tipología dentro de la sección de bienes patrimoniales “Street Furniture” identificada por el Historic England^[7]. Sólo así, podría proponerse su inscripción atendiendo a los principios generales de selección para construcciones inscritas, enumeradas por el Department for Digital, Culture, Media & Sport de Reino Unido. De ellos, destacamos para nuestro objeto de estudio el artículo 19 destinado a construcciones con menos de 30 años de antigüedad, el artículo 20 sobre méritos estéticos y el artículo 22 sobre el interés nacional de la obra (Government United Kingdom 2018: 6-7).

Resultados y discusión final

Una vez analizadas las obras de Banksy conservadas en Londres y Bristol podemos extraer resultados de cuáles han sido las estrategias llevadas a cabo por agentes públicos y privados para preservar su materialidad [Tabla 1], que junto a los daños sufridos conforman la historia de cada una de ellas. Antes debemos hacer mención a las muchas obras documentadas por las fuentes consultadas que han desaparecido poco después de ser ejecutadas. También deben considerarse aquellas que han sido tapadas por los propietarios o arrancadas, vendidas y, por ende, descontextualizadas.

El objetivo de todas las acciones llevadas a cabo es mantener las obras para la fruición colectiva e, indiscutiblemente, para el aprovechamiento turístico. En algunas ocasiones han participado profesionales en la Restauración y Conservación del patrimonio como el IFACS. No obstante, algunas actuaciones no han sido apropiadas porque no se han tenido en consideración los agentes de deterioro que proponen el Canadian Conservation Institute y el -ICCR- (Antomarchi, Michalski y Pedersoli 2016: 28-50) como la humedad relativa

Título	Autoría confirmada	Localización	Fecha de primera ejecución	Estado Actual	Soporte o elemento registrado en la NHLE	Fotografía del estado inicial	Fotografía del estado actual
The Fisher Boy	Si	Bermingham Wall W, Londres Coordenadas: 51.50280665,79175,-0.060466648,70959329	2008	Presencia de mucho verde, pérdida de color del esmalte empalme y parcial desdoblamiento de la capa de imprimación. Definición con coste superficial.	No		
London Queen's Work Pleasant Ror	Si	Chiswell Street, Londres Coordenadas: 51.5208662460232,-0.0915680203752445	Ca. 2008	Mantenida por propietarios del inmueble, pérdida parcial de la capa de imprimación y polvos, humedad y vandalismo.	No		
Very Little Helps	Si	Essex Road, Londres Coordenadas: 51.54006749256185,-0.0963146265326767	2008	Mantenida parcialmente, mala colocación de lámina protectora, desajustes parcial de la obra y vandalismo.	No		
Ferns Wheel	Si	Barbican Centre, Londres Coordenadas: 51.520813801001104,-0.09088514041512255	2017	Mantenida por propietarios, protección.	Si (120156468, Grado 4*)		
Boys and Girls Welcome to the Metropolitan Police	Si	Barbican Centre, Londres Coordenadas: 51.520867207423635,-0.0909500093120265	2017	Protegida con lámina protectora excepto un bote de pintura y parte de la mano.	Si (120156468, Grado 4*)		
Naked Man Hanging from Window	Si	Park Street Viaduct, Bristol Coordenadas: 51.45333368,204065,-2.6007498399950483	2006	Ha perdido parte de la policromía y ha sido vandalizada en diferentes ocasiones.	Si		
The Mild Mild West	Si	Stokes Croft, Bristol Coordenadas: 51.46324023514895,-2.58845439401271	1999	Ha sido vandalizada en varias ocasiones y limpiada parcialmente. Cuenta con cámara de videovigilancia.	No		
You don't need planning permission to build castles in the sky	Si	Balloon Central, Bristol Coordenadas: 51.451875607122706,-2.603178537018538	2011	Preservada parcialmente. Cuenta con cámara de videovigilancia.	Si		
Valentine's Day	Si	Marsh Lane, Bristol Coordenadas: 51.45476382798985,-2.54068836669456	2020	Preservada pero vandalizada. Cubierta con lámina y planchas de madera. Vigilada por videocámaras.	No		
Rose on a Motorcycle	Si	Thomas St North, Bristol Coordenadas: 51.454256228770337,-2.589999546270331	2004	Parcialmente preservada con manto blanco, pero presencia de humedad y moho.	No		
Girl with a Pistol	Si	Spike Island, Bristol Coordenadas: 51.44796763200318,-2.607981075515064	2014	Preservada por el entorno y el espacio aunque la obra ha sido vandalizada.	No		
Take the money and run	Si (Banksy, Mike y Moshé)	Montpelier, Bristol Coordenadas: 51.46709982466174,-2.588540434874338	1999	Tapada por un grafiti.	No		
11/11/01	Si	Vale St. de Tottenham, Bristol Coordenadas: 51.4820971463335,-2.572511543843349	2020	Amanada de su lugar de origen y vendida.	No		

Tabla 1.- Análisis de las obras de Banksy en Bristol y Londres según los resultados obtenidos en este estudio. Elaboración propia

inadecuada, la luz y radiación ultravioleta, las fuerzas físicas o la disociación por parte de las instituciones públicas, que ha provocado la desaparición de "Spy Booth". El fin es evitar que las obras sean deterioradas, arrancadas y posteriormente vendidas tal y como previamente había analizado Amor García, pero esta tarea no es sencilla porque la obra de Banksy es urbana, pública y demasiado conocida. Por ende, junto a la preservación del material, debería valorarse lo significativo de la obra y no descontextualizarla.

Asimismo, deberían protegerse aquellos elementos del equipamiento urbano que en ocasiones forman parte de la intervención como en "Very Little Helps". La actuación más recurrente ha sido colocar Perspex® o marcos y cristales que impidan que escritores ataquen las obras. Este hecho no sólo las convierte en diana de artistas callejeros, también olvida que este tipo de cubiertas repercuten negativamente en la obra al concentrar calor y humedad si no se colocan

adecuadamente. También es frecuente la instalación de cámaras de videovigilancia o la contratación de personal de seguridad. Si bien logra la preservación material de la obra al permitir que permanezca en su lugar de origen, resulta irónico al tratarse de obras de un artista callejero que critica el exceso de control.

Ninguna de las obras analizadas aparece inscrita en catálogos de patrimonio histórico ni en la National Heritage List for England pese a ser significativas o estar en riesgo. Siguiendo el precedente de la desaparecida "Spy Booth" en el que la obra fue inscrita aprovechando la tutela del soporte, algunas intervenciones urbanas analizadas en esta investigación sí que han sido ejecutadas sobre edificios catalogados o próximas a ellos. Como sucede en la normativa sobre patrimonio histórico español, el *Planning (Listed Buildings and Conservation Areas) Act 1990* (Gobierno de Reino Unido 1990) también considera que deben protegerse los valores del bien inscrito y su entorno de protección (Calvo 2019: 10), de modo que algunas de las obras estudiadas podrían inscribirse en sus respectivas declaraciones de Monumento o, por el contrario, eliminarse por generar un impacto negativo en el bien. No obstante, no podemos olvidar que el derecho de autoría y de propiedad intelectual también respaldaría la preservación material de las obras en el caso de que existiese una amenaza de borrado o desaparición de las mismas sin el consentimiento de Banksy.

Por último, no queremos dar una respuesta pretenciosa afirmando que toda obra de Banksy merece ser tutelada formalmente. Existen casos como "The Mild Mild West" que han evidenciado valores patrimoniales y por ello es merecedora de ser inscrita en la NHLE, pero este hecho implicaría repensar la obra en dos direcciones. Su preservación y admisión en la lista podría favorecer la regeneración de una determinada área degradada de Bristol –tal y como lo ve la sociedad benéfica comunitaria Coexist-, entendiendo por tanto la protección de la obra como un medio y no como un fin. Sin embargo, podría contribuir en la gentrificación o "destrucción creativa" del barrio (Sorando y Ardura 2016: 153-154), como sugieren los activistas de Appropriate Media quienes asumen (considerando a Banksy con un escritor de grafiti en vez de un artista urbano) que "Graffiti artists are the performing spray-can monkeys for gentrification" (BBC 2009b).

Conclusiones

Banksy se ha convertido en uno de los artistas contemporáneos más importantes para el mercado y la Historia del Arte. Sus obras urbanas critican los mass media (aunque, a su vez, se sirven de ellos), la pobreza y las desigualdades sociales. Cuentan con valores artísticos y antropológicos, de carácter social y antiautoritario al reprender el capitalismo y la globalización con sátira, situando al público espectador como agente activo en la percepción de su obra. Además, ha puesto de manifiesto la necesidad de atender a nuevas fuentes de consulta al registrar sus obras en redes sociales. Su producción debe analizarse valorando el contexto cultural y social, ya que

el medio y las intenciones superan en ocasiones a la técnica empleada, evidenciado en sus murales con plantilla de Ucrania que están siendo preservados gracias a novedosos avances tecnológicos como hemos podido comprobar.

Desde hace más de una década Reino Unido ha buscado proteger y evitar la desaparición de sus obras en el espacio público mediante diferentes intervenciones, financiadas y ejecutadas por agentes públicos y privados, como la colocación de cámaras de vigilancia y Perspex®, el repintado, la contratación de guardias de seguridad o el arranque y traslado. Estas soluciones no atienden a los principales agentes que deterioran las obras de arte en el espacio público ni a los dogmas propios del arte callejero, de modo que además de una adecuada instalación de láminas protectoras, es fundamental la comprensión poliédrica de las obras de arte urbano, destacando su valor contextual.

La preservación de sus obras callejeras en Londres y Bristol supone ventajas y limitaciones para los especialistas del patrimonio cultural, además de la implicación de los ciudadanos que contribuyen en ello. Mientras que el número de visitantes que quieren conocer las obras de Banksy crece, estas desaparecen más rápido al convertirse en focos de interés y no ser tutelados como ha sucedido con “¡¡¡Aachoo!!!” en Bristol. En otros casos, los murales son tapados por las autoridades o propietarios de los edificios, retirados, intervenidos, vendidos y subastados. Gracias a visitas técnicas, hemos analizado trece casos de estudio (cinco en Londres y ocho en Bristol), de los cuales once han sido preservados en diferentes casuísticas, uno ha sido tapado y otro arrancado. Estas nos han permitido concluir que muchas desaparecen a causa de la disociación por parte de agentes públicos y privados; el uso de Perspex® no favorece su conservación; y algunas obras han sido preservadas por las autoridades públicas, aun localizándose en bienes históricos inscritos en la NHLE. A propósito de esto, hemos evidenciado que existen precedentes como “Spy Booth” para incorporar obras de Banksy a la declaración de los Monumentos, además de las herramientas para poder inscribir en la NHLE aquellas obras singulares que gocen de valores patrimoniales, ejemplificado en “The Mild Mild West”.

En definitiva, ¿son las obras de Banksy patrimonio?, es más ¿son enemigas o aliadas del patrimonio? La respuesta es compleja, pero confirmamos que el Arte Urbano y la imagen de Banksy forman parte de la memoria de los británicos y de la identidad de Londres y Bristol, donde sus obras se han convertido en un nuevo recurso turístico y patrimonial difícil de preservar. En tanto se produce (o no) la tutela formal de estas obras, serán cruciales las actividades de interpretación, la participación ciudadana y la continua investigación transdisciplinaria.

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia en el marco de un contrato para la Formación de Profesorado Universitario (2022) según la Orden del 30 de diciembre de 2022.

Notas

[1] Con grafiti autóctono nos referimos a estilos de grafiti con características particulares de un territorio y cuyo desarrollo fue independiente al grafiti neoyorquino. En este sentido destacamos el inicial grafiti autóctono de Ámsterdam ligado a la subcultura punk o el grafiti flechero en Madrid.

[2] Incidimos en la idea de que Blek fue el pionero en Europa pues, como bien expone Gómez Muñoz en su tesis doctoral, la creadora pública independiente americana Christy Rupp ya estaría ratas por las calles en 1979, es decir, siete años antes que Blek y veintiuno antes que Banksy (2015: 294).

[3] Para conocer el estado actual de gran parte de las obras callejeras de Banksy hemos consultado “Banksy Locations Map”, ofrecido y actualizado regularmente por *Art of the State*. En línea: <https://www.artofthestate.co.uk/banksy-locations-map-2/>.

[4] Según el artículo 4 del código deontológico para la conservación y restauración de arte urbano elaborado por el grupo de trabajo de Arte Urbano del Grupo Español del GE-IIC, uno de los agentes clave a la hora de realizar intervenciones de conservación-restauración sobre este tipo de obras es el artista, quien debe aprobar tal actuación (Amor *et al.* 2016: 189).

[5] Hay que entender que los escritores de grafiti “compiten” en el espacio público por pintar sobre los mejores muros y soportes, es decir, aquellos que aúnan riesgo, visibilidad y permiten una mayor durabilidad de sus obras. Pese a que son conscientes de la naturaleza efímera de sus piezas, es comprensible que se sientan discriminados tras los anuncios de Hopkins al afirmar que “The decision to keep this Banksy image is not a green light for more graffiti in the city” (BBC 2006).

[6] Para saber más, se recomienda consultar la noticia publicada por el Ayuntamiento de Cheltenham: https://www.cheltenham.gov.uk/news/article/1813/conclusion_of_banksy_investigation.

[7] En las *Guías de selección* del Historic England se proponen diferentes tipos de edificios que pueden ser potencialmente inscritos como patrimonio. Para saber más: <https://historicengland.org.uk/listing/selection-criteria/listing-selection/>.

Referencias

@banksy (2022). Vídeo sobre intervenciones de Banksy en Ucrania. Instagram. 17 de noviembre. <https://www.instagram.com/p/CIEaVDJOPaM/?hl=es>. [consulta: 25/06/2024].

@banksy (2024). Vídeo sobre performance de Banksy con barca hinchable con muñecos migrantes en el festival de Glastonbury. Instagram. 30 de junio. <https://www.instagram.com/p/C82WR71MNqm/?hl=es>. [consulta: 28/10/2024].

ABARCA, J. (2009). “El arte urbano como agente facilitador de los procesos de gentrificación”, *Arte en el espacio público: barrios artísticos y revitalización urbana*, eds. Blanca Fernández Quesada y Jesús-Pedro Lorente: 56-65. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.

- ABARCA, J. (2016). "Del arte urbano a los murales, ¿qué hemos perdido?", *Urbanario*. <https://urbanario.es/articulo/del-arte-urbano-a-los-murales-que-hemos-perdido/?portfolioCats=12%2C10%2C124%2C9%2C123%2C7%2C8%2C4%2C122>. [consulta: 24/10/2024]
- AMOR GARCÍA, R. L. (2014a). "Estado de conservación de las obras al exterior de Banksy en Londres", *I Congreso de Investigadores en Arte. El Arte Necesario. La investigación artística en un contexto de crisis*: 59-67. Valencia: Sendemà Editorial. https://www.cons-graf.com/papers/pdf/ANIAV1_PaperOnly+additional_RLAmor-Garcia.pdf
- AMOR GARCÍA, R. L. (2014b). "Revisión historiográfica del Graffiti y el Street Art, y su situación actual en el entorno urbano", *I Congreso de Investigadores en Arte. El Arte Necesario. La investigación artística en un contexto de crisis*: 67-75. Valencia: Sendemà Editorial.
- AMOR GARCÍA, R. L. (2016). "Estudio del arranque sobre pinturas con aerosol vinculada al graffiti y arte urbano: posibilidades, incompatibilidades y alternativas", *Ge-Conservación*, 10: 87-96. <https://doi.org/10.37558/gec.v10i0.402>. [consulta: 22/10/2024].
- AMOR GARCÍA, R. L., GINER CORDERO, E., GARCÍA GAYO, E., GASOL FARGAS, R., LUQUE RODRIGO, L., MATA DELGADO, A. L., PARADA MARTÍN, M. J., SÁNCHEZ PONS, M., SANTABÁRBARA, C., SENSERRICH ESPUÑES, R., PASTOR VALS, T., ÚBEDA GARCÍA, M. I., VÁZQUEZ DE LA FUENTE, M. (2016). "Anexo I: Propuesta de código deontológico para la conservación y restauración de arte urbano", *Ge-conservación*, 10: 186-192. <https://doi.org/10.37558/gec.v10i0.419>
- ANTOMARCHI, C., MICHALSKI, S., y PEDERSOLI JR, J.L. (2016). *Guía de Gestión de Riesgos para Patrimonio Museológico*. ICCROM & Instituto Canadiense de Conservación. https://www.iccrom.org/sites/default/files/2018-01/guia_de_gestion_de_riesgos_es.pdf. [consulta: 25/06/2024].
- ANTONELLI, S., MARZIANI, G., & GONZÁLEZ-CASTELAO, J. (2022). *Banksy*. Akal
- ARMSTRONG, S. (2019). *Street Art*. Barcelona: Blume.
- ART OF THE STATE (2024). "Banksy Locations Map", *Art of the State*. <https://www.artofthestate.co.uk/banksy-locations-map-2/>. [consulta: 30/10/2024]
- ART REVIEW (2019). "Power 100. Banksy", *Art Review*. <https://artreview.com/artist/banksy/?year=2019>. [consulta: 22/10/2024].
- ARTLYST (2014). "Banksy's Folkestone 'Art Buff' Mural Has Been Flown To Miami Art Fair For Sale", *Artlyst*. <https://artlyst.com/news/banksys-folkestone-art-buff-mural-has-been-flown-to-miami-art-fair-for-sale/>. [consulta: 28/10/2024].
- BALAGUERA, E. (2016). "Graffiti y patrimonio histórico. ¿Qué hacer con los despiadados pizareros?", *Revista Estudios Culturales*, 9: 83-105. http://servicio.bc.uc.edu.ve/multidisciplinarias/estudios_culturales/num17/art06.pdf.
- BANKSY (2005). *Banksy. Wall and piece*. Pforzheim: Appl Druck
- BANKSY EXPLAINED (2024). "Basquiat Murals, september 2017", *Banksy Explained*. <https://banksyexplained.com/basquiat-murals-2017/>
- BANKSY EXPLAINED (2024). "Di-Faced Tanners, 2004", *Banksy Explained*. <https://banksyexplained.com/di-faced-tanners-august-2004/>. [consulta: 28/10/2024].
- BANKSY EXPLAINED (2024). "Very Little Helps", *Banksy Explained*. <https://banksyexplained.com/very-little-helps-2008/>. [consulta: 28/10/2024]
- BANKSYFILM (2022). *Ukraine*. Vídeo en línea. YouTube. 17 de noviembre. <https://www.youtube.com/watch?v=grC38EdcyMM>. [consulta: 25/06/2024].
- BANKSYFILM. (2015). *Make this the year YOU discover new destination*. Vídeo en línea. YouTube. 25 de febrero. <https://www.youtube.com/watch?v=3e2dShY8jlo>. [consulta: 25/06/2024].
- BBC (2006). "'Naked man' mural allowed to stay", *BBC News*. http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/england/bristol/somerset/5193552.stm. [consulta: 18/11/2024]
- BBC (2015). "Can a Banksy get legal protection?", *BBC News England*. <https://www.bbc.com/news/uk-england-31521791>. [consulta: 25/06/2024].
- BBC (2020). "Bristol Valentine's Day Banksy mural vandalised", *BBC*. <https://www.bbc.com/news/uk-england-bristol-51515557>. [consulta: 20/11/2024]
- BBCa (2009). "Banksy art vandalism is 'stupid'", *BBC Bristol*. http://news.bbc.co.uk/local/bristol/hi/people_and_places/arts_and_culture/newsid_7985000/7985625.stm. [consulta: 14/11/2024]
- BBCb (2009). "Paint daubed across Banksy mural", *BBC*. http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/england/bristol/somerset/7985525.stm. [consulta: 14/11/2024]
- BONADIO, E. (2020). *Protecting Art in the Street*. Suecia: Dokument Press
- BRISTOL CITY COUNCIL (2020). *The Bristol Local List*. 5ª edición. City Council: Bristol
- BRISTOL MUSEUM (2009). "Banksy versus Bristol Museum", *Bristol Museum*. <https://www.bristolmuseums.org.uk/whats-on/bristol-museum-and-art-gallery/banksy-versus-bristol-museum/>. [consulta: 12/11/2024]
- CALVO, G. M. (2019). *La protección legislativa del Patrimonio Cultural en Reino Unido*. Trabajo Final de Máster. Universidad de Salamanca. https://www.academia.edu/42921821/La_protecci%C3%B3n_legislativa_del_Patrimonio_Cultural_en_el_Reino_Unido. [consulta: 25/06/2024].
- CARROLL, T. (2021). "Thought Lost, Banksy's 'Spy Booth' Returns... As Bricks", *Inside Hook*. <https://www.insidehook.com/culture/banksy-spy-booth-returns-nft>. [consulta: 26/11/2024]
- CASTILLO RUÍZ, J. (2022). *Los límites del patrimonio cultural*. Madrid: Cátedra.
- CASTLEMAN, C. (1987). *Los graffitis*. Madrid: Hemann Blume
- CURTIS, F. (2015). "Banksy's Grim Reaper goes on display at M Shed", *Bristol Museum*. <https://www.bristolmuseums.org.uk/blog/news/banksy-grim-reaper-thekla/>. [consulta: 12/11/2024]

- DE LA TORRE, M. (2002). *Assessing the Values of Cultural Heritage*. The Getty Conservation Institute: Los Ángeles. http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/values_cultural_heritage
- DETURK, S. (2015). "The 'Banksy Effect' and Street Art in the Middle East", *SAUC Journal*, 1: 22-30. <https://journals.ap2.pt/index.php/sauc/article/view/25>. [consulta: 25/06/2024].
- DOGHERIA, D. (2014). "Street Art", *Artedossier*, 31: 27-34.
- DOMÍNGUEZ PORRERO, I. (2021). Diseño de la identidad visual corporativa del Festival de Arte Urbano de Sevilla. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/102245?locale-attribute=en>. [consulta: 25/06/2024].
- DRURY, C. (2018). "Banksy mural attacked by 'drunk halfwit'", *Independent*. <https://www.independent.co.uk/news/uk/home-news/banksy-mural-attacked-port-talbot-neath-michael-sheen-season-s-greetings-baglan-a8696971.html>. [consulta: 28/10/2024].
- ELLSWORTH-JONES, W. (2022). *Banksy. El hombre de detrás de las paredes*. Madrid: Librero
- FARELL ROIG, E. (2020). "Bristol Banksy artwork The Rose Trap hit by vandals – but they didn't quite succeed", *Bristol Post*. <https://www.bristolpost.co.uk/news/bristol-news/bristol-banksy-artwork-rose-trap-4520957>. [consulta: 20/11/2024]
- GARCÍA CANCLINI, N. (1999). "Los usos sociales del patrimonio cultural". En *Patrimonio Etnológico. Nuevas Perspectivas de estudio*, Aguilar E. (coord.). Sevilla: Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, 16-33.
- GARCÍA GAYO, E. (2017). "Restauración de Muelle de Montera. Gestión, innovación y riesgos", *Conservación de Arte Contemporáneo*, 18ª Jornada: 167-177. Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía: Madrid
- GETZELS, R. (2012). "Camden Town new Banksy missile girl: Real o fake?", *Ham&High*. <https://www.hamhigh.co.uk/news/21385276.camden-town-new-banksy-missile-girl-real-fake/>. [consulta: 07/11/2024]
- GOBIERNO DE REINO UNIDO (1990). Planning (Listed Buildings and Conservation Areas) Act 1990. <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1990/9/contents>. [consulta: 25/06/2024].
- GÓMEZ MUÑOZ, J. (2015). *25 años de graffiti en Valencia: aspectos sociológicos y estéticos*. Tesis Doctoral. Universitat de València. <https://roderic.uv.es/items/fcca3343-8fcd-4195-9723-95e2a86c18f7>. [consulta: 25/06/2024].
- GOOGLE MAPS (2024). "Visión de London Doesn't Work de Banksy desde 2008 hasta la actualidad", Google Maps. https://www.google.es/maps/place/Banksy+%22I+love+London,+Robbo.%22/@51.5209427,-0.091345,3a,75y,90t/data=!3m8!1e2!3m6!1sAF1QipOkAtJ6qtzDrVfqdWokUe3VioVOQZtW18Ok0jUe!2e10!3e12!6shhttps:%2F%2Fh5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1QipOkAtJ6qtzDrVfqdWokUe3VioVOQZtW18Ok0jUe!3Dw86-h114-k-no!7i3000!8i4000!4m16!1m8!3m7!1s0x47d8a00baf21de75:0x52963a5addd52a99!2sLondres,+Reino+Unido!3b1!8m2!3d51.5072178!4d-0.1275862!16zL20vMDRqcGw!3m6!1s0x48761d0ba88ce07f:0x6436cec13ba58f8e!8m2!3d51.5209954!4d-0.0913296!10e5!16s%2Fg%2F11fmzq3z19?entry=ttu&_ep=EgoyMDI0MTAyOS4wKXMDSoASAFQAw%3D%3D. [consulta: 07/11/2024]
- GOVERNMENT UNITED KINGDOM (2018). "Guidance. Principles of selection for listed buildings", *Department for Digital, Culture, Media and Sport*. En línea: <https://www.gov.uk/government/publications/principles-of-selection-for-listing-buildings>. [consulta: 18/12/2024]
- GUERRERO, E. (2015). "Banksy's Grim Reaper, Bristol", *IFACS*. <http://www.ifacs.co.uk/banksys-grim-reaper-3/>. [consulta: 12/11/2024]
- HANSEN, S. (2018). "Heritage protection for Street Art? The case of Banksy's Spybooth", *Nuart Journal*, 1: 31-35. https://nuartjournal.com/wp-content/uploads/2018/09/06_Hansen_Nuart-Journal-1-1-2018.pdf. [consulta: 25/06/2024].
- HISTORIC ENGLAND (2024). "Apply for Listing", *Historic England*. <https://historicengland.org.uk/listing/protect-historic-places/apply-for-listing/#79718f50>. [consulta: 27/11/2024]
- HISTORIC ENGLAND (s.f.). Listed Buildings. <https://historicengland.org.uk/listing/what-is-designation/listed-buildings/> [consulta: 25/06/2024].
- JACKSON, L. & ELGUETA, A. (2024). "9 grafitis en 9 días: las enigmáticas obras de animales con las que Banksy vuelve a sorprender a Londres", *BBC*. <https://www.bbc.com/mundo/articles/cje2vl2ge3ko>. [consulta: 22/10/2024].
- KOROGODSKY, Y. (2023). "Los grafitis de Banksy se conservarán o transportarán -Tkachenko", *Lb.ua*. https://lb.ua/culture/2023/01/14/542536_grafiti_benksi_zakonservuyut_abo.html. [consulta: 25/06/2024].
- LEWIS, S. (2020). "Banksy's Valentine's Day mural now covered after it was vandalized in London", *CBS News*. <https://www.cbsnews.com/news/banksy-defaced-british-street-artist-valentines-day-mural-vandalized-now-covered-2020-02-16/>. [consulta: 20/11/2024]
- LUQUE RODRIGO, L. (2020). "La gestión del arte urbano, ¿Una cuestión pendiente?", *La Colmena*, 106: 81-98. <https://lacolmena.uaemex.mx/article/view/13191>. [consulta: 25/06/2024].
- MARTINI, M. (2009). "Banksy in Cisgiordania: graffiti sul limite". En *XXXVII Congresso dell'Associazione Italiana di Studi Semiotici*, Bologna: Universidad de Bologna.
- MATTHEWS, J. (2009). "Banksy graffiti of raising Tesco bag protected by plastic Essex Road Islington London", *Alamy*. <https://www.alamy.com/stock-photo-banksy-graffitti-of-raising-tesco-bag-protected-by-plastic-essex-road-21659395.html?imageid=63BEE6AC-BE4B-4F81-8414-3A2C6A503680&p=21411&pn=1&searchId=6e27495dc366cff74d779b4bc7644c6f&searchty pe=0>. [consulta: 07/11/2024].
- MORIENTE, D. (2015). "De vándalo a artista: Banksy", *Anuario del Departamento de Historia y Teoría del Arte*, 27: 31-52. <https://revistas.uam.es/anuario/article/view/7325>. [consulta: 25/06/2024].
- MORRIS, S. (2007). "Banksy mural to be protected in offices makeover", *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/uk/2007/jun/06/artnews.art>. [consulta: 14/11/2024]
- MSHED (2021). "Vanguard | Bristol Street Art: The evolution of a global movement", *Bristol Museums*. <https://www.bristolmuseums.org.uk/whats-on/m-shed/vanguard-bristol-street-art/>. [consulta: 12/05/2025]

NOVAK, M. (2023). "Ucrania instala un sistema de seguridad de alta tecnología para preservar las pinturas de Banksy", *Forbes*. <https://forbes.es/actualidad/239313/ucrania-instala-un-sistema-de-seguridad-de-alta-tecnologia-para-preservar-las-pinturas-de-banksy/>. [consulta: 25/06/2024].

PATEL, B. (2021). "New owners of Banksy house call in crane to remove guerrilla artist's Achoo! mural as it appears artwork has been sold", *Mail Online*. <https://www.dailymail.co.uk/news/article-9355717/New-owners-Banksy-house-call-crane-remove-Achoo-mural.html>. [consulta: 20/11/2024]

PHILBY, C. (2008). "Blek le Rat: This is not a Banksy", *Independent*. <https://www.independent.co.uk/arts-entertainment/art/features/blek-le-rat-this-is-not-a-banksy-811130.html>. [consulta: 24/10/2024]

PRSC (2009). "Banksy Mild Mild West attacked (Again)", *People Republic of Stokes Croft*. <https://prsc.org.uk/banksy-mild-mild-west-attacked-again/>. [consulta: 14/11/2024]

RIZHLAINE & CAROLINE (2020). "Banksy's stolen tribute work to the Bataclan: officially returned to France", *Sortir à Paris*. <https://www.sortiraparis.com/en/news/in-paris/articles/220827-banksy-s-stolen-tribute-work-to-the-bataclan-officially-returned-to-france>. [consulta: 24/10/2024]

RODRÍGUEZ, L. (2023). "El presunto autor del robo de un Banksy en Ucrania se enfrenta a 12 años de prisión", *El Periódico*. <https://www.elperiodico.com/es/internacional/20230103/robo-banksy-ucrania-prision-80658525>. [consulta: 25/06/2024].

RUTHERFORD SMITH, S. (2019). *Ownership of South African Street Art and the protection of cultural heritage resources*. Tesis Doctoral. Universidad de Sudáfrica. <https://uir.unisa.ac.za/handle/10500/26670>. [consulta: 23/10/2024]

SAMSUNG NEWSROOM (2017). "Street's Ahead... Graffiti Triumphs Over Classics As The Art Of The Nation.", *Samsung Newsroom*. <https://news.samsung.com/uk/streets-ahead-graffiti-triumphs-over-classics-as-the-art-of-the-nation>. [consulta: 22/10/2024]

SHARROCKS, E. (2023). "Port Talbot: New Street art takes swipe at Banksy owner", *BBC*. <https://www.bbc.com/news/uk-wales-65883109>. [consulta: 28/10/2024]

SHAW, A. (2017). "Barbican 'in discussion' to preserve Banksy murals inspired by Jean-Michel Basquiat exhibition", *The Art Newspaper*. <https://www.theartnewspaper.com/2017/09/19/barbican-in-discussion-to-preserve-banksy-murals-inspired-by-jean-michel-basquiat-exhibition>. [consulta: 07/11/2024]

SMITH, A. (2018). "Iconic Banksy 'Well Hung Lover' artwork defaced by vandals in Bristol", *Metro*. <https://metro.co.uk/2018/02/25/iconic-banksy-well-hung-lover-artwork-defaced-by-vandals-in-bristol-7341076/>. [consulta: 18/11/2024]

SORANDO, D., y ARDURA, A. (2016). *First We Take Manhattan*. La destrucción creativa de las ciudades. Madrid: Catarata

STEVENS, J. (2014). "Banksy's 'Girl with the Pierced Eardrum' vandalised in Bristol", *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/artanddesign/2014/oct/22/banksys-girl-with-the-pierced-eardrum-vandalised-in-bristol>. [consulta: 20/11/2024]

STIFTUNG BERLINER MAUER (2024). "Renovation and Building Development Plans", *East Side Gallery*. <https://www.stiftung-berliner-mauer.de/en/east-side-gallery/historical-site/open-air-gallery>. [consulta: 22/10/2024]

TAPIES, X. (2020). *¿Dónde estás, Banksy?*. Barcelona: Hoaki Books, S.L.

THIS IS BRISTOL (2009). "Vandals target Banksy mural in Bristol", *WayBack Machine*. <http://www.bristolpost.co.uk/vandals-target-banksy-mural-bristol/story-11296888-detail/story.html>. [consulta: 14/11/2024]

UP FEST (2024). "Home", *Up Fest*. <https://www.upfest.co.uk/>. [consulta: 11/11/2024]

VICENTE DOMINGO, E. (2021). *Los grafitis como obras protegibles*. Madrid: Editorial Reus, S.A.

VISIT BRISTOL (2024). "Bristol Street Art", *Visit Bristol*. <https://visitbristol.co.uk/things-to-do/street-art/>. [consulta: 11/11/2024]

WALKER, A. (2020). "Bristol owners pullo ut of sale of house hosting Banksy artwork", en *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/artanddesign/2020/dec/10/banksy-confirms-he-created-achoo-artwork-in-bristol>. [consulta: 25/06/2024]

Autor/es



Francisco Delgado Chica

frandelchi@ugr.es

Universidad de Granada

<https://orcid.org/0000-0003-0353-2435>

Graduado en Historia del Arte y docente contratado predoctoral FPU en el Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Granada. Es miembro de ICOMOS y de la Asociación Española para la Investigación y Difusión de Graffiti y Arte Urbano (INDAGUE). Ha cursado el Máster en Arquitectura y Patrimonio Histórico en la Universidad de Sevilla y el Máster Universitario en Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato en la Universidad de Jaén. Ha sido distinguido con el Premio Extraordinario de Grado en Historia del Arte (Universidad de Granada, 2021), el Reconocimiento a la Excelencia en el Rendimiento Académico en Historia del Arte (Universidad de Granada, 2021) y el Premio Extraordinario de Máster en Arquitectura y Patrimonio Histórico (Universidad de Sevilla, 2022).

Su trayectoria académica y profesional incluye diversas becas y estancias formativas, entre ellas una beca Erasmus en la Università degli Studi di Perugia (Italia), una beca de Iniciación a la Investigación UGR-Banco Santander, una beca de

colaboración del Ministerio de Educación en la US, una estancia en el Centro de Documentación y Estudios del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico y otra en ICOMOS Deutschland. Sus líneas de investigación se centran en el patrimonio cultural, el graffiti, el arte urbano y el arte público, ámbitos sobre los que ha publicado distintos trabajos científicos. Asimismo, ha participado en la documentación de colecciones y donaciones de obras de arte, destacando la colección de murales de arte urbano de Belin publicada en la Guía Digital del Patrimonio Cultural de Andalucía. Además ha creado la Ruta Cultural “Conociendo el arte urbano de Linares. Memoria, historia y patrimonio a través de los murales de Belin”, también publicada en la Guía del IAPH.

Artículo enviado 25/06/2024
Artículo aceptado el 02/10/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1323>

Empleo de microimanes como sistema de unión de injertos durante el tratamiento de reintegración: retrato escultórico de Jacob Merrill Kaplan y retrato de Jules C. Stein

M. Azahara Rodríguez, Laura Osete Cortina, Xavier Mas-Barberà

Resumen: Este estudio aborda el uso de imanes durante la reintegración de volumen en dos retratos escultóricos de yeso realizados por el escultor cubista Jacques Lipchitz. Estas piezas forman parte de la colección de yesos donada a la Real Academia de Bellas Artes de San Carlos de Valencia por parte de la Fundación Jacques and Yulla Lipchitz. Presentan pérdida de los extremos (hélix) del pabellón auricular, depósitos de suciedad superficial, así como abrasión. El objetivo ha sido crear injertos y su adhesión mediante un procedimiento con microimanes de un modo reversible y en consonancia con el lenguaje creativo del escultor. Para ello, se ha aplicado el modelo teórico (Rodríguez, 2017) que posibilita la predicción del comportamiento de las uniones y determina la distribución de las fuerzas magnéticas por la superficie de la junta consiguiendo estabilizarlas. Asimismo, se han seleccionado los imanes óptimos conforme al tamaño, peso y posicionamiento de los injertos. Este trabajo pone de relieve el afianzamiento de estrategias de intervención válidas en el contexto actual de la conservación y restauración de escultura y elementos ornamentales por su carácter reversible y no invasivo.

Palabras clave: microimanes, sistemas magnéticos, injertos, escultor Jacques Lipchitz, retrato escultórico, Fundación Jacques y Yulla Lipchitz

Use of micro magnets as a grafts bonding system during the reintegration treatment: sculptural portrait of Jacob Merrill Kaplan and portrait of Jules C. Stein

Abstract: This study addresses the use of magnets during volumetric reintegration in two sculptural plaster portraits created by the cubist sculptor Jacques Lipchitz. These pieces are part of the plaster collection donated to the Royal Academy of Fine Arts of San Carlos in Valencia by the Jacques and Yulla Lipchitz Foundation. The objects show loss of the extremities (helix) of the auricular pavilion, as well as superficial dirt deposits and signs of abrasion. The aim was to create grafts and their adhesion through a delicate procedure with micro magnets in a reversible manner, in harmony with the sculptor's creative language. To this end, a theoretical model (Rodríguez, 2017) was applied to predict the behavior of the joints and determine the distribution of magnetic forces across the bonding surface, thereby achieving their stabilization. In this context, optimal magnets were selected based on the size, weight, and positioning of the grafts. This work highlights the consolidation of intervention strategies that are considered valid within the current framework of sculpture and ornamental element conservation and restoration, due to their reversible and non-invasive nature.

Keywords: micro magnets, magnetic systems, grafts, Jacques Lipchitz sculptor, sculptural portrait, Jacques and Yulla Lipchitz Foundation

Emprego de microímans como sistema de união de enxertos durante o tratamento de reintegração: retrato escultórico de Jacob Merrill Kaplan e retrato de Jules C. Stein

Resumo: Este estudo aborda a utilização de ímanes durante a reintegração volumétrica em dois retratos escultóricos em gesso realizados pelo escultor cubista Jacques Lipchitz. Estas obras fazem parte da coleção de moldes em gesso doada à Real Academia de Belas-Artes de São Carlos de Valência pela Fundação Jacques e Yulla Lipchitz. Apresentam perdas nas extremidades (hélice) do pavilhão auricular, depósitos de sujidade superficial, bem como abrasões. O objetivo consistiu em criar enxertos e promover a sua fixação através de um procedimento com microímans, de modo reversível e em consonância com a linguagem criativa do escultor. Para tal, foi aplicado o modelo teórico de Rodríguez (2017), que permite prever o comportamento das uniões e determinar a distribuição das forças magnéticas na superfície da junta, garantindo a sua estabilização. Além disso, foram selecionados os ímanes mais adequados

em função do tamanho, peso e posicionamento dos enxertos. Este trabalho evidencia o reforço de estratégias de intervenção válidas no contexto atual da conservação e restauro de escultura e elementos ornamentais, devido ao seu caráter reversível e não invasivo.

Palavras-chave: microímanes, sistemas magnéticos, enxertos, escultor Jacques Lipchitz, retrato escultórico, Fundação Jacques e Yulla Lipchitz

Introducción

El presente trabajo aborda el tratamiento de reintegración llevado a cabo sobre dos yesos del escultor cubista, de origen lituano, Jacques Lipchitz (1891-1973). Se trata de sendos retratos escultóricos de un total de 31 piezas que han sido donadas a la Real Academia de Bellas Artes de San Carlos de Valencia por parte de la Fundación Jacques and Yulla Lipchitz de Nueva York (Osete *et al.* 2024; De Barañano 2006, 2010 y 2013).

Los métodos actuales de conservación curativa y restauración de escultura y artes decorativas implican, durante los procesos de reintegración o unión de fragmentos, el uso de adhesivos orgánicos, resultando en la mayoría de los casos un material filmógeno que penetra en la superficie del original (Iborra *et al.* 2013; Contrafatto y Cosenza 2014; Raftery y Whenlan 2014). Este tipo de intervención proporciona robustez y estabilidad a la obra de arte, pero limita el principio de mínima intervención y reversibilidad, sobre todo, si para estabilizar la intervención se incorporan espigas de refuerzo perforando de forma irreversible partes originales.

En este sentido, es oportuno aplicar metodologías y estrategias menos invasivas que proporcionen a la obra de arte una robustez similar, manteniendo a su vez la reversibilidad de la intervención en la medida de lo posible y el respeto por la obra de arte. Por ello, el uso de materiales magnéticos se plantea como una solución alternativa real para este problema.

Entre los materiales magnéticos, los imanes permanentes, en adelante denominados imanes, son componentes esenciales en muchos campos tecnológicos debido a su capacidad para proporcionar una gran respuesta magnética sin la aplicación de un campo magnético externo (Abad y Sagredo 2018). En concreto, aparece una gran fuerza entre dos imanes o entre un imán y un material ferromagnético siempre que la temperatura esté por debajo de la temperatura de Curie, una temperatura característica a partir de la cual el material pierde su magnetismo permanente. Los imanes de la aleación NdFeB, conocidos como imanes de Neodimio Hierro-Boro (Coey 1996), son una excelente opción para aplicaciones prácticas ya que combinan una gran respuesta magnética¹, lo que hace que su fuerza en relación con su tamaño sea excelente, proporcionando una solución óptima con un costo relativamente bajo. Asimismo, y en términos generales, estos imanes poseen una temperatura de Curie relativamente baja (312 °C) y una mínima resistencia a la corrosión. Estas particularidades no suponen un problema para ser aplicados en el ámbito de la conservación y la restauración dado que no se someten a estas elevadas temperaturas y, los imanes de neodimio comerciales llevan un revestimiento protector niquelado (Ni-Cu-Ni) ante la corrosión (Sugimoto 2011).

El uso de materiales magnéticos en la conservación y restauración aplicados al Patrimonio Cultural es bastante reciente. Desde finales de la década de 1980, los imanes se han utilizado en la conservación preventiva y la musealización, mejorando los métodos de exposición de documentos gráficos, pergaminos, textiles y pinturas murales (Spicer 2016). Más recientemente, los restauradores han utilizado los sistemas magnéticos como herramienta para producir adherencia entre capas de pintura, para eliminar deformaciones (Sterp y Sánchez 2022; Texeira 2024; Szozda y Zurek 2024), para buscar piezas metálicas en piezas arqueológicas o como herramienta de limpieza (Carretti *et al.* 2010). Sin embargo, son pocos los ejemplos en los que los materiales magnéticos, principalmente los imanes permanentes, se utilizan como herramienta alternativa para unir fragmentos o para ayudar en la inserción de injertos reconstructivos en esculturas (Rodríguez 2017; Santos 2019; Didier *et al.* 2020). El uso de imanes en la conservación y restauración de esculturas tiene el potencial de cumplir con los criterios de mínima intervención, respeto por la obra de arte original, y, lo que es más importante, reversibilidad. En general, el uso de imanes en tratamientos está sujeto a las habilidades y criterios del conservador/restaurador, y su aplicación es intuitiva. El empleo sistemático de sistemas magnéticos en el campo de la escultura y las artes decorativas aún no está muy extendido. En investigaciones anteriores (Rodríguez *et al.* 2018; Alcantud *et al.* 2018), se ha mostrado la posibilidad de utilizar imanes permanentes para la restauración de esculturas en piedra, desarrollando un método sistemático para determinar la elección óptima de los imanes y las ubicaciones para colocarlos en las piezas a unir, minimizando el impacto y asegurando la reversibilidad. En este trabajo se expone el potencial de este método, aplicado durante la restauración de dos piezas de yeso del escultor cubista Jacques Lipchitz, cuyo reto ha residido en la manipulación y colocación precisa de imanes de dimensiones extremadamente reducidas durante la fijación de injertos con morfología heterogénea y superficies de fractura irregulares, lo que ha supuesto una considerable complejidad en términos de ajuste y reintegración volumétrica. En definitiva, la intervención de reintegración ha completado el volumen perdido de ambas piezas mediante la adición de injertos de un modo reversible y discernible textural y cromáticamente (UNE EN 41810:2017).

Caso de estudio

Las piezas objeto de esta intervención son dos yesos del escultor Jacques Lipchitz, artista que destaca por ser uno de los pioneros del cubismo en la escultura de principios del siglo XX, compartiendo el panorama artístico del momento con destacados maestros como Alexander Archipenko o Henri Laurens (Pütz 2002; Arnason 1972). Para Lipchitz el proceso de creación escultórica comienza con el boceto o maqueta, una

práctica fundamental que le permite "*fijar inmediatamente una idea y cambiarla rápidamente*" (De Barañano 2006, 2009, 2010 y 2013; Pütz 2005). La colección donada a la Real Academia de Bellas Artes de San Carlos de Valencia abarca obras fechadas entre 1923 y 1971-72, ofreciendo un recorrido cronológico por la evolución creativa del artista (Osete *et al.* 2024; VVAA 2015; De Barañano 2006 y 2009; Arnason 1972; Hope 1954).

Las piezas de este trabajo se refieren a: i) retrato del Dr. Jules C. Stein^[2] (39 x 27 x 20 cm aprox., 1963) (en adelante rCS) y, ii) retrato de Jacob Merrill Kaplan³ (43 x 22 x 29 cm aprox., sf.) (en adelante rMK) [Figura 1]. Se trata de dos modelos que representan a dos personalidades distinguidas del momento, amigos del artista, y que sirvieron como referentes para pasarse a un material definitivo (fundición en bronce o sacado de puntos en piedra, entre otras técnicas) (Wilkinson 2000 y 1998; Yvars y Ybarra 1997; Barbler *et al.* 1977; Arnason 1972; Hope 1954). Concretamente, la pieza rMK se muestra directamente en yeso sin recubrimiento y, rCS es un yeso con varias capas de goma laca aplicada, en este caso, como separador durante los procesos de moldeado. En ambos casos, el yeso es un sulfato de calcio dihidrato, obtenido a partir de la hidratación del sulfato de calcio semihidrato (semihidrato beta con anhidrita II o yeso *fino de construcción*, UNE 13279-1:2009; UNE 13279-2:2014), y de un tamaño de partícula fina, con contenido en sulfato de calcio superior al 80 %. En términos generales, el estado de conservación de las piezas es bueno. La pieza rMK presenta pérdida de la punta de la oreja derecha, suciedad superficial e incrustada, así como abrasión superficial; mientras que la pieza rCS muestra pérdida de la punta de la oreja izquierda, depósitos de suciedad superficial y de resina orgánica (ICOMOS 2011). La presencia de resina, como adhesivo, en las zonas de fractura del pabellón auricular pone de manifiesto, en ambos casos, la intención deliberada del artista de recuperar el volumen original y preservar su unidad formal.

De igual modo, las piezas han sido examinadas mediante técnicas no invasivas y mínimamente invasivas previamente al tratamiento integral de conservación curativa y restauración (Osete *et al.* 2024; Sala *et al.* 2024) revelando resultados que confirman la coherencia entre los materiales y las técnicas empleadas por el escultor y en consonancia con las circunstancias acaecidas en el taller. En términos generales, las mediciones de pH y conductividad iónica superficial, junto con la evaluación del comportamiento hídrico mediante la determinación del ángulo de contacto y el ensayo de absorción de la gota, se realizaron siguiendo los procedimientos normalizados (UNE-EN 12621:2004, UNE-EN 15802:2010; RILEM Nº II.8a). Estos análisis pusieron de manifiesto una ligera alteración tanto del soporte como del estrato superficial, relacionado con procesos naturales de envejecimiento y con las condiciones ambientales del entorno del estudio del artista. Los valores de pH se situaron entre 5,5 y 6,8 puntos; mientras que las conductividades registradas oscilaron entre 110 y 530 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por otra parte, las mediciones hídricas evidenciaron diferencias significativas entre zonas protegidas por pátinas, identificadas como estratos de goma laca, que presentaron ángulos de contacto superiores a 98° y tiempos de absorción por encima de 180 segundos, y otras áreas correspondientes al soporte de yeso, cuya mayor

porosidad y permeabilidad se tradujo en absorciones inferiores a 3 segundos. La caracterización morfológica y composicional, realizada mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y microscopía electrónica de barrido de emisión de campo con análisis de energía dispersiva de rayos X (FESEM-EDX), permitió identificar los principales materiales constitutivos y añadidos. Se detectaron bandas características del sulfato de calcio hidratado (yeso) en las regiones 3600–3400 cm^{-1} (vibraciones O–H) y 1100–1000 cm^{-1} (vibraciones del grupo SO_4^{2-}), así como picos atribuibles a goma laca (en torno a 1700 cm^{-1} , vibración C=O) y residuos de nitrocelulosa (picos a ~1550 cm^{-1} , ~1350 cm^{-1} y ~1100 cm^{-1}). Complementariamente, los exámenes reflectográficos en luz visible, ultravioleta (UV) y luz rasante permitieron identificar con claridad zonas de reintegración de volumen y variaciones de textura en superficie realizadas por parte del artista de entre el resto de los daños observados.

Finalmente, a partir del conjunto de datos obtenidos, la decisión de incorporar injertos de reducido tamaño en los casos objeto de intervención planteó consideraciones relevantes desde el punto de vista ético en el ámbito de la conservación. El proceso desarrollado podría parecer contradictorio con los principios de mínima intervención, ampliamente aceptados como marco deontológico en el campo de la conservación-restauración. A pesar del tamaño de los injertos, por su escala y visibilidad, podrían sugerir que su reintegración volumétrica no resulta esencial para la comprensión o estabilidad de la obra, y que su omisión constituiría, incluso, una elección más prudente desde el punto de vista ético. Sin embargo, esta intervención no responde a un criterio estético o reconstructivo, sino que se fundamenta en evidencias materiales que apuntan a un intento de recomposición por parte del propio autor. La presencia de restos de adhesivo en las zonas de fractura originales, aplicados directamente por el propio artista, revela de forma inequívoca su intención explícita de reparar la forma volumétrica de las partes dañadas. Esta evidencia convierte la reintegración en un acto de respeto al proceso creativo original, donde la reconstrucción formal se vincula a la integridad conceptual de las piezas, más allá de su apariencia material. Además, desde un enfoque contemporáneo de la práctica conservativa, la noción de "mínima intervención" no debe entenderse como inacción, sino como una intervención cuidadosamente razonada, técnicamente justificada y plenamente reversible. En este caso, el sistema empleado, localizado puntualmente sobre las zonas de fractura más estables, permitió llevar a cabo las reintegraciones con un alto grado de control técnico, sin adhesión permanente ni modificación irreversible del soporte original. La incorporación de injertos, en este contexto, no supone una transgresión del principio de intervención mínima, sino su aplicación consciente y el respeto por la autenticidad material, la fidelidad al lenguaje escultórico del artista y la necesidad de preservar la continuidad volumétrica de las piezas. La validez de esta acción no reside tanto en la dimensión física de los injertos como en el significado que adquieren dentro del contexto material, histórico y plástico de las obras. Al tratarse de retratos escultóricos, su recuperación permite restablecer no solo la forma, sino también una parte de la intención artística y de la coherencia del objeto en sí.

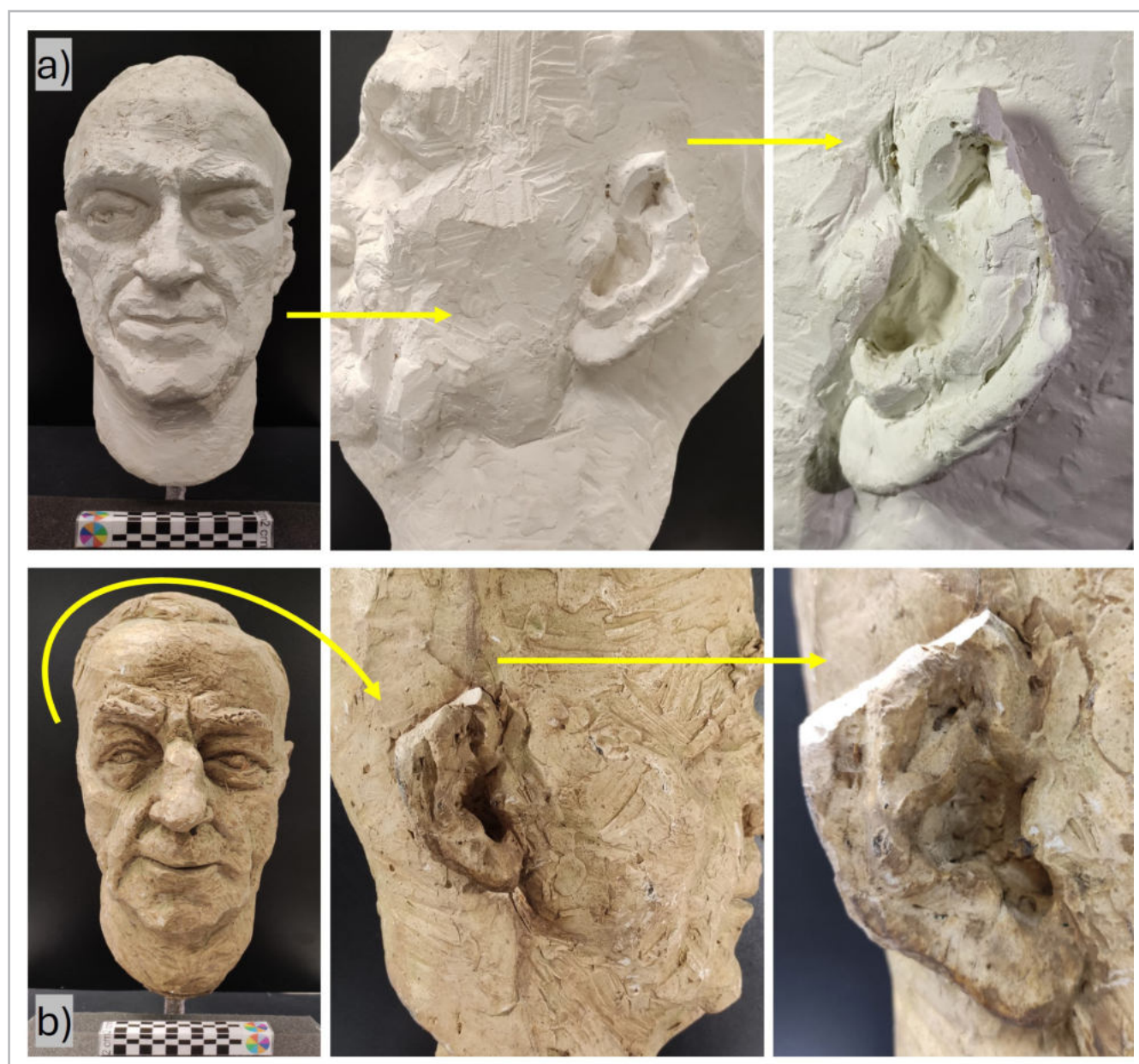


Figura 1.- (a-b). Retratos escultóricos de yeso objeto de esta intervención. a) Vista general frontal y lateral, y detalle de la pérdida del hélix del pabellón auricular izquierdo, retrato del Dr. Jules C. Stein. b) Vista general frontal y lateral, y detalle de la pérdida del hélix del pabellón auricular derecho, retrato de Jacob Merrill Kaplan.

Materiales y método

—Injertos de yeso

Para la realización de los injertos se empleó una pasta preparada a partir de varios componentes conforme a los resultados obtenidos en los estudios y análisis preliminares realizados sobre varias muestras de soporte de yeso procedente del original (Osete-Cortina y Mas-Barberà sf). Para ello se empleó un sulfato de calcio semihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) comercializado como *Iberyola*®, de la Compañía Placo Saint-Gobain, al que se le añadió una carga de polvo de carbonato cálcico (partícula 0-120 micras) y un aditivo (blanco de zinc) suministrados por *Kremer Pigments*, respectivamente (la proporción corresponde a un 66 % de sulfato de calcio semihidratado, 33% de

carbonato cálcico y 1 % de blanco de zinc; en una relación de 1: 0,7 (p/v) de la mezcla con agua); de este modo, tras su fraguado se garantizaba un material afín con respecto al original, aunque más blando y discernible (física, química y mecánicamente). Para el modelado de los injertos se tuvo en consideración información documental tomada en diversos catálogos y registros fotográficos de la *Fundación Jacques and Yulla Lipchitz* (Barañano 2009). Finalmente, la reintegración del volumen se efectuó con ayuda de una espátula de metal y aplicación manual de la pasta de yeso modificada sobre la zona de pérdida, previamente humedecida con agua destilada (en otras ocasiones, la zona se protege con *Parafilm*®, Rodríguez et al. 2018). El injerto resultante de la pieza rCS no recibió protección alguna conforme al original, mientras que el injerto de la pieza rMK se reintegró cromáticamente armonizándolo

con el resto de la pieza aplicando una veladura con color *Gouache Vallejo*®.

Los dos injertos reconstruyen el hélix, la parte superior del cartilago de la oreja. El injerto de la pieza rCS que reconstruye el hélix de la oreja izquierda tiene un peso en seco de 5,192 g; mientras que el injerto de la oreja derecha de la pieza rMK resulta con un peso de 6,634 g (secado tras 24 horas a temperatura ambiente, respectivamente). Ambos tienen unas dimensiones de 5 cm de longitud y un grosor de sección (o zona de contacto) de 1 cm, aproximadamente.

— Aplicación del “modelo teórico”

Para el tratamiento de las piezas objeto de este trabajo se tomó en consideración el modelo teórico desarrollado por Rodríguez (2017), el cual establece el modo de calcular la fuerza de sujeción que deben proporcionar los imanes para que el sistema sea estable y se garantice la integridad de la unión. Asimismo, se considera fundamental que el campo magnético sea lo más pequeño posible y se mantenga cerrado en la zona minimizándose la posible contaminación de partículas del ambiente. Para ello, debe calcularse la posición de los imanes y sus características magnéticas utilizando un modelo analítico basado en las leyes de la estática^[4]. La base física del modelo es lógica, esto es que las fuerzas magnéticas ejercidas por los imanes en la unión sea lo suficientemente representativa como para garantizar que el fragmento unido no se mueva. Para ello se requiere conocer varios parámetros: a) peso, longitud, ancho y ángulo que forma la pieza a unir y el tamaño de la sección de la pérdida, b) el coeficiente de rozamiento entre las dos superficies a unir para poder aplicar el modelo y proporcionar la fuerza necesaria que evite el fallo de la unión y, por consiguiente, la separación de las partes y, c) el centro de masas de la pieza a unir para conocer cómo va

a estar repartido el peso. En este sentido, el modelo teórico proporciona el valor mínimo de fuerza que el imán tiene que aportar como fuerza total. En este caso, dado que la posición de la fractura con el implante no da pie a rotación, este valor se calcula resolviendo dos ecuaciones. Por un lado, todos los pesos (P), la fricción (F), la relación entre las piezas (R) y la fuerza magnética (M) deben sumar cero, evitando así la rotura de la unión a través del deslizamiento (*Ecuación 1*). Por otro lado, la suma de los momentos de las fuerzas también debe ser cero para evitar que la junta se rompa por rotación del fragmento (*Ecuación 2*).

$$\text{Ecuación 1: } P + F + R + M = 0$$

Considerando la dirección horizontal, $M = R$.

Considerando la dirección vertical:

$$P = F$$

$$F = \mu R = \mu M$$

Donde μ corresponde al valor de fricción o de rozamiento

$$\text{Ecuación 2: } \text{Por tanto, } M = P/\mu$$

De acuerdo con la Ecuación 2, la selección de los imanes depende únicamente del peso del injerto, de la morfología del plano de apoyo y del coeficiente de fricción entre las diferentes piezas. En este caso, dada la forma y encaje de los injertos, no existe tendencia a la rotación posible, por lo que el equilibrio de momentos se garantiza plenamente. El parámetro conocido como coeficiente de rozamiento (μ) da cuenta de la resistencia que presentan dos cuerpos al deslizar uno sobre otro (Tipler 1992).

La Figura 2 muestra el modelo teórico desarrollado conforme a los injertos practicados en las piezas objeto de intervención.

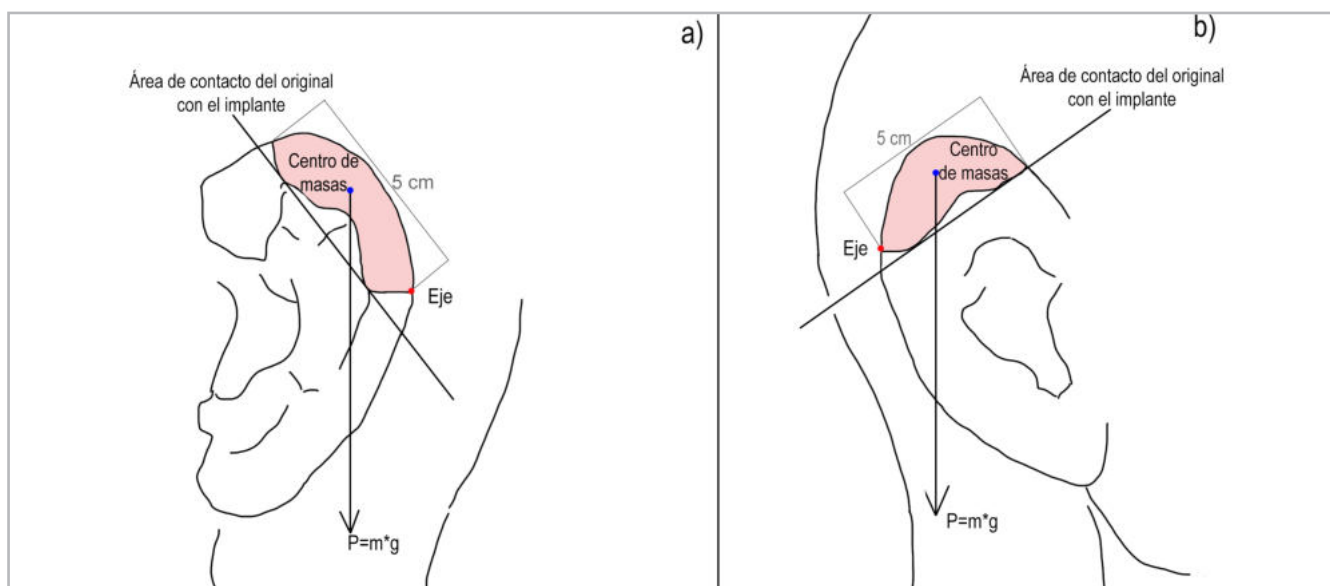


Figura 2.- (a-b). Modelo teórico desarrollado para la unión de los injertos. a) Retrato del Dr. Jules C. Stein. b) Retrato de Jacob Merrill Kaplan.

Resultados y discusión

El uso de sistemas magnéticos en los procesos de unión de injertos comporta varias acciones destacadas, entre ellas, i) el cálculo de la fuerza magnética a partir del modelo teórico mencionado anteriormente; ii) la elección de los imanes y, iii) el empleo de un adhesivo que mantenga los imanes puntualmente fijados a la superficie del original y a la superficie del injerto.

En este sentido, si se aplica a los casos de estudio (rCS y rMK) la *Ecuación 2* conforme al modelo teórico, se obtiene una fuerza magnética (M_f) de 0,06 N y 0,08 N respectivamente, dado que el peso del injerto de la pieza rCS resulta 5,192 g y, el injerto de la pieza rMK es 6,634 g, considerando el valor de fricción (μ) de 0,86 puntos — valor medido en materiales inorgánicos porosos de similares propiedades (Rodríguez 2017)—. Por lo tanto, la fuerza magnética requerida para asegurar el equilibrio será de 0,08 N. Asimismo, si se contempla el factor de seguridad del método teórico, con el fin de compensar posibles errores de alineación o irregularidades superficiales, deben seleccionarse imanes que proporcionen una fuerza magnética superior al valor de equilibrio y que, según las especificaciones de los fabricantes (para este caso de la compañía *Supermagnete*), se corresponde con el modelo S-02-01-N con una M_f de 1,08 N [Tabla 1].

De igual modo, con el fin de minimizar el campo magnético, los imanes deben colocarse en configuraciones magnéticas opuestas reduciendo así el flujo magnético fuera de los injertos [Figura 3]. Esta configuración puede determinarse con ayuda de simulaciones de elementos finitos conforme a los estudios desarrollados por Rodríguez (2017).

Parámetros	Pieza rCS	Pieza rMK
peso seco (p) del implante en g	5,192 g	6,634 g
valor de fricción (μ) (Rodríguez 2017)	0,86	
fuerza magnética (M_f)	0,06 N	0,08 N
equilibrio fuerzas	0,08 N	1,00 N
factor de seguridad	1,08 N	
modelo de imán comercializado (Supermag-nete)	S-02-01-N	S-02-01-N

2 mm de diámetro; 1 mm de grosor; 1,08 N de fuerza de sujeción; Magnetización axial.

Propiedades S-02-01-N

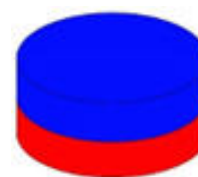


Tabla 1.- Datos resultantes de aplicar el modelo teórico a los casos rCS y rMK.

Asimismo, el sistema de imanes seleccionado debe fijarse a la obra mediante un adhesivo. Generalmente, el tamaño y peso del injerto, el tipo de material y la ubicación de la pieza son propiedades que determinan la elección del adhesivo. En este caso, el tamaño de los injertos y la conservación de las piezas en un ambiente controlado reducen los inconvenientes en cuanto a las condiciones de temperatura y humedad relativa se refiere (agentes desencadenantes de oxidación y corrosión). Se eligió la

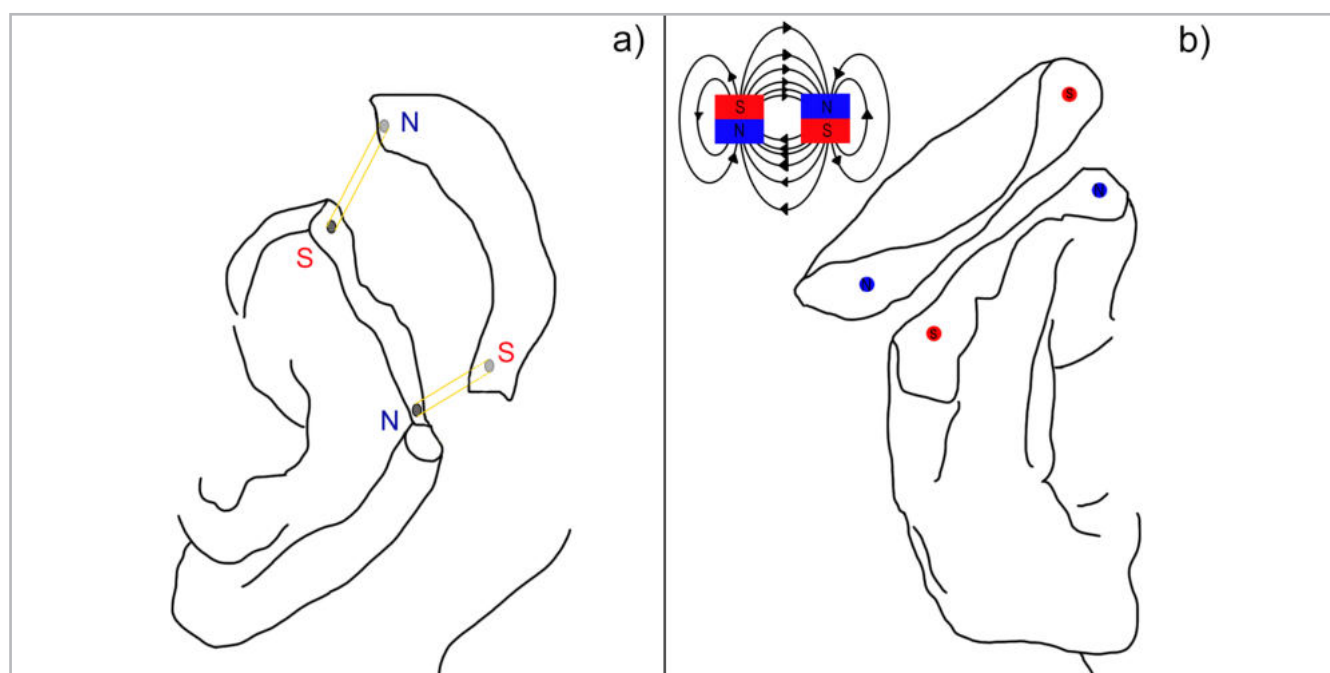


Figura 2.- (a-b). Detalle de la zona de pérdida y fragmento del injerto aplicando el modelo teórico. Colocación de los imanes en configuración opuesta y alternada mejorando el cierre del campo magnético. a) pieza rCS y, b) pieza rMK, respectivamente.

resina acrílica *Paraloid B-72*® diluida con acetona (50 % p/v) dada su solubilidad y retratabilidad; así como, por su óptimo comportamiento en los ensayos de resistencia mecánica a tracción y elongación realizados sobre probetas de escayola (112 N y 0,45 mm, respectivamente) (Rodríguez 2017).

—Unión de los injertos mediante microimanes

Finalmente, el proceso de creación de los injertos y la inserción de los micro imanes durante el tratamiento del retrato de la pieza rCS y, de pieza rMK se presenta a continuación [Figuras 4 y 5]:



Figura 4.- (a-h). Tratamiento de reintegración volumétrica en la pieza rCS. a) Detalle de la parte faltante del hélix del pabellón auricular izquierdo; b) Injerto de yeso; c) Injerto con y sin sistemas magnéticos. Por un lado, se aprecia el hueco que albergará los imanes y, por otro lado, el par de imanes instalado en el hueco (en este caso, uno fijado al injerto y, el otro se fijará en el original, ambos separados por film de polietileno); d) Injerto, con los pares de imanes, dispuesto para fijarse en la zona faltante del original; e) Fase de adhesión de los imanes en la zona del original; f) Se aprecia la fijación de los imanes de modo puntual; g) Injerto instalado completamente; y, h) Vista lateral y trasera resultante tras la intervención.

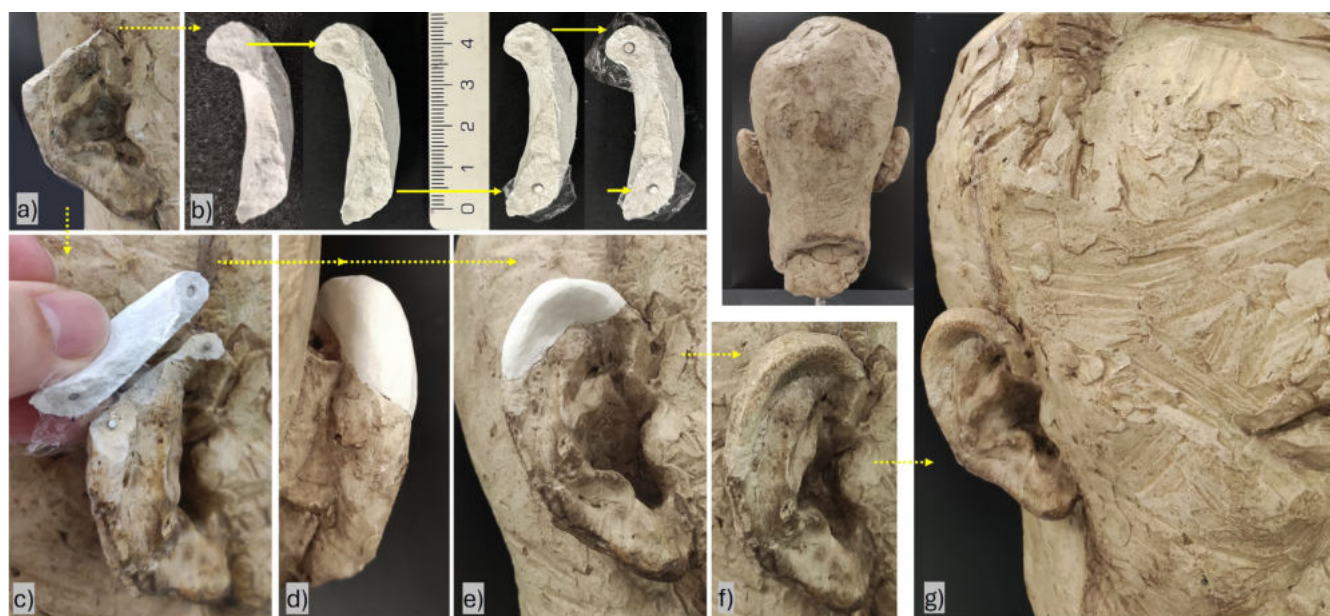


Figura 5.- (a-g). Tratamiento de reintegración volumétrica en la pieza rMK. a) Detalle de la parte faltante del hélix del pabellón auricular derecho; b) Secuencia donde se ilustra el injerto de yeso: i) sin y con huecos y, ii) sin y con sistemas magnéticos; c) Injerto con dos imanes fijados y zona del original con los otros dos imanes adheridos; d-e) Vista trasera y frontal del injerto instalado; f) Tratamiento cromático del injerto mediante la técnica de punteado; g) Vista lateral y trasera resultante tras la intervención.

1) Se prehumedece levemente la zona con agua destilada (en otras ocasiones, la zona se protege con Parafilm®, Rodríguez et al. 2018) y se reintegra el volumen faltante (punta del pabellón auricular o hélix) mediante la pasta de yeso. Tras su fraguado (10'), se retira cuidadosamente mediante un leve movimiento resultando el fragmento del injerto. Se deja secar durante 24 horas aproximadamente y, posteriormente, se repasa cuidadosamente con pequeñas escofinas

2) Se señalan en la parte del injerto las zonas donde se ubicarán los pares de imanes conforme al modelo teórico [Figura 2]. Se realizan los orificios en el injerto, con una profundidad y un diámetro determinado y suficiente, de modo que puedan alojarse en su interior el par de microimanes sin que el original pierda material ni se dañe. Cada par se coloca en configuración opuesta [Figura 3] y, uno de ellos unido a la zona del injerto mediante una disolución de resina acrílica *Paraloid B72*® con acetona (50 % p/v). Para evitar la adhesión entre sí, cada par de microimanes se separa mediante film de polietileno [Figura 4 b-d, Figura 5 b].

2) Endurecida la resina de esta primera unión, se adhiere el otro microimán del par a la zona del original mediante la disolución de resina acrílica *Paraloid B72*® con acetona (50 % p/v), protegiéndose nuevamente los microimanes entre ellos con film de polietileno [Figura 4 e-f, Figura 5 c].

4) Finalmente, el injerto resulta fijado con precisión y unido reversiblemente [Figura 4 g, Figura 5 d-e]. Los dos pares de imanes, aunque unidos cada uno en la parte del original y en la parte del injerto, quedan albergados en la matriz del injerto lo que evita el perforado de la pieza original. Esta acción resulta totalmente respetuosa recuperándose la integridad volumétrica, formal y cromática [Figura 4 h, Figura 5 f-g].

Conclusiones

Este trabajo de intervención aborda el empleo de microimanes en los procesos de reintegración de volumen sobre dos retratos escultóricos de yeso. La incorporación de los injertos se fundamenta, por un lado, en evidencias materiales que sugieren un intento de recomposición por parte de Jacques Lipchitz y, por otro lado, la recuperación de la intencionalidad artística del retrato escultórico conforme al lenguaje escultórico del artista. Se muestra la metodología precisa y sistemática para la inserción de los injertos como método reversible y compatible con el original. Además, pone en valor la viabilidad de su aplicabilidad en el ámbito escultórico y ornamental dada la escasez de ejemplos. A pesar de ello, el modelo teórico configurado y su aplicación sobre los casos de estudio, pieza rCS y pieza rMK, ayudarán al restaurador en situaciones de casuística análoga. Los imanes S-02-01-N seleccionados conforme al modelo han mantenido los injertos unidos al original minimizando el campo magnético del sistema. La

metodología empleada no sólo garantiza la reversibilidad y el respeto a la integridad del original, sino que ilustra una casuística concreta con posibilidades para su transferencia a otros materiales (vidrio, hueso, cerámica) y a distintos contextos dentro de la conservación del patrimonio cultural, como la restauración de bienes arqueológicos o elementos arquitectónicos decorativos. El uso de injertos unidos mediante microimanes ha recuperado la continuidad formal y material de las piezas de un modo respetuoso e inocuo (sin perforación y retratable en cuanto a los materiales y los procesos desarrollados se refiere), aspectos destacados en los tratamientos de conservación y restauración actuales. En definitiva, este trabajo reivindica una metodología de actuación común y unificada para esta tipología de tratamientos mediante imanes en el ámbito escultórico y de las artes decorativas.

Agradecimientos

Los autores desean extender su más sincero agradecimiento a D. Manuel Muñoz y a Dña. Pilar Roig, Presidente y Vicepresidenta de la Real Academia de Bellas Artes de Valencia, por la confianza depositada en el equipo de investigación del Instituto de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València. Asimismo, expresan su gratitud hacia D. Kosme de Barañano por su inestimable contribución al facilitarnos acceso a una bibliografía especializada sobre el escultor y su colección. Finalmente, agradecen a Paula Wilches y a Carlota Torregrosa su disposición en esta experiencia de aprendizaje.

Notas

[1]. Magnetización de saturación por encima de 1,5 T con una alta estabilidad en presencia de campos magnéticos externos (coercitividad por encima de 7 T).

[2]. Dr. Jules C. Stein (1896-1981), fue físico, empresario y músico.

[3]. Jacob Merrill Kaplan (1891-1987), fue un importante empresario de agricultura de la Welch Grape Company de la National Grape Cooperative Association en Westfield de Nueva York.

[4]. Leyes de la estática forman la rama de la física que analiza los cuerpos en reposo.

Referencias

AENOR, Norma UNE EN 13279-1:2009. *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones*. Comité Técnico CTN 102 Yesos y productos de yeso.

AENOR, Norma UNE-EN 13279-2:2014. *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo*. Comité Técnico CTN 102 Yesos y productos de yeso.

AENOR, Norma UNE-EN 15802:2010. *Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Determinación del ángulo de contacto estático*. Comité Técnico CTN 41/SC 8 - Conservación, restauración y rehabilitación de edificios.

AENOR, Norma UNE-EN 1262:2004. *Agentes de superficie. Determinación del valor del pH en disoluciones o dispersiones*. Comité técnico AEN/CTN 55B. Madrid, España.

AENOR, Norma UNE EN 41810:2017. *Conservación del Patrimonio cultural. Criterios de intervención en materiales pétreos*. (Comité técnico CTN 41 Construcción), Punto 7. Fases de intervención, 7.7 Reintegraciones y sustituciones.

ABAD, V., SAGREDO, J. (2018). "Evolución y proceso de fabricación de imanes "NEO" aplicados a motores de vehículos eléctricos". En *Revista de Metalurgia* 54 (3): e127. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.127>

ALCANTUD, A., N. DIDIER NIQUET, N., RODRÍGUEZ, M.A., MAS-BARBERÀ, X. (2018) "Optimización y aplicación de prótesis 3D mediante tecnologías físico-digitales como solución para la restauración de faltantes en escultura". En *Revista Anuario Tarea*, 5: 2108–2233.

ARNASON, H. H. (1972). *Jacques Lipchitz, My Life in Sculpture*, New York: Viking Press; Canada: Mcmillan Company.

ATENCIA CONDE-PUMPIDO, B. (2011). "Jacques Lipchitz y la creación de una escultura cubista verdadera". En *Baetica. Estudios de Arte, Geografía e Historia*, 33: 7-18. <https://doi.org/10.24310/BAETICA.2011.v0i33.108>

BARBLER, N., CACHIN, F., and GEORGE, G. (1977). *Lipchitz: 100 oeuvres nouvelles 1974-76*. Paris: Musée National d' Art Moderne, Centre National d'Art et de Culture Georges Pompidou.

CARRETTI, E., BONINI M., DEI, L., BERRIE, BH. (2010). "New frontiers in materials science for art conservation: responsive gels and beyond". En *Accounts of chemical Research* 43 (6):751-760. <https://doi.org/10.1021/ar900282h>

COEY, J.M.D. (1996). *Rare-earth Iron Permanent Magnets*, Oxford University Press. 542.

CONTRAFATTO, L., COSENZA, R. (2014). "Behaviour of post-installed adhesive anchors in natural Stone". En *Constr. Build. Mater.* 68: 355–369.

DE BARAÑANO, K. (2006). *Jacques Lipchitz. Interacción de formas*, Fundación BBK, Bilbao.

DE BARAÑANO, K. (2006). *Los Yesos de Jacques Lipchitz*. A Catalogue Raisonné, Fundazioa BBK.

DE BARAÑANO, K. (2010). *Jacques Lipchitz (1891-1973). Escultura y Dibujo*, Galería Oriol, Barcelona.

DE BARAÑANO, K. (2013). *L'arte di Gesso. La donazione Jacques Lipchitz*, Silvana Editoriale Spa, Cinisello Balsamo, Milano.

DIDIER N., SÁNCHEZ-LÓPEZ, M., MAS-BARBERÀ X. (2020). "Development of reversible intelligent prosthesis for the conservation of sculptures. A case study". En *Journal of Cultural Heritage* 43: 227-234. <https://doi.org/203/rs.3.rs-1986713/v1>

HOPE, H. R. (2017). *The Sculpture of Jacques Lipchitz by The Museum of Modern Art New York in collaboration with the Walker Art Center, Minneapolis; The Cleveland Museum of Art, 1954*. Museum of Modern Art: Distributed by Simon & Schuster.

ICOMOS-ISCS. (2011). *Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns*.

IVORRA, S., GARCÍA-BARBA, J., MATEO, M., PÉREZ-CARRAMINANA, C., MACIÁ, A. (2013). "Partial collapse of a ventilated stone facade: diagnosis and analysis of the anchorage system". En *Eng. Fail. Analysis* 31: 290–301. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.01.045>

NORMA UNE EN 41810:2017 *Conservación del Patrimonio cultural. Criterios de intervención en materiales pétreos*. (Comité técnico CTN 41 Construcción), Punto 7. Fases de intervención, 7.7 Reintegraciones y sustituciones.

MATÍA, P.; BLANCH, E.; DE LA CUADRA, C.; DE ARRIBA, P.; DE LAS CASAS, J.; GUTIÉRREZ, J.L. (2009). *Procedimientos y materiales en la obra escultórica*, Akal.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTE (2013). *Proyecto COREMANS: Criterios de intervención en materiales pétreos* Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Documentación y Publicación.

OSETE CORTINA, L., GARCÍA BELDA, T., GRAFIÁ SALES, J. V., MAS-BARBERÀ, X. (2024). "La colección de yesos del escultor Jacques Lipchitz donada a la Real Academia de Bellas Artes de San Carlos de Valencia. Estudios previos y estrategia de análisis". En *Revista Archivo de Arte Valenciano*: 263-278.

OSETE CORTINA, L., MAS-BARBERÀ, X. *Estudio y estrategia de tratamientos en la colección de yesos del escultor Jacques Lipchitz (Real Academia de Bellas Artes de San Carlos, Valencia)*. Parte 1. Dosificación y preparación de pastas de yeso (sf), Universitat Politècnica de València. Informe inédito.

PÜTZ, C. (2002). *The First Cubist Sculptor*. Lund Humphreys & Paul Holberton Publishing, Londres.

PÜTZ, C. (2005). *Los Yesos de Lipchitz en el IVAM. Trazando un mapa del laberinto*. Valencia, Generalitat Valenciana.

RAFTERY, G.M., WHENLAN, C. (2014). "Low-grade glued laminated timber beams reinforced using improved arrangements of bonded-in GFRP rods". En *Constr. Build. Mater.* 52: 209–220. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.044>

RILEM (1980). Ensayo de absorción de la gota Nº II. 8a. Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods. Commission 25-PEM: *Protection et Erosion des Monuments* 175-253.

RODRÍGUEZ, M.A. (2017). *Análisis De Sistemas Magnéticos Aplicados a Uniones De Fragmentos* [Tesis Doctoral], Universitat Politècnica de València.

RODRÍGUEZ, M.A., RUIZ-GÓMEZ, S., PÉREZ, L., MAS-BARBERÀ, X. (2018). "Use of magnets for reversible restoration in sculpture. The case of the "Virgen de los Desamparados" in Valencia (Spain)". En *Journal of cultural Heritage* 31: 215–219. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.01.005>

SALA-LUIS, A., BOSCH-ROIG, P., GARCÍA-PEÑA, M., MAS-BARBERÀ, X. (2024). "Man on horseback fighting bull (1932) del escultor Jacques Lipchitz. Casuística de biodeterioro y consideraciones preliminares". En *Revista Archivo de Arte Valenciano*: 279-292.

SANTOS, S. (2019). "La utilización de imanes en la recuperación de la estabilidad de dos tallas en madera, metodología y criterios". En *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico* 97:44-59. <https://doi.org/10.33349/2019.97.4150>

SPICER, G. (2016). "Ferrous attractions: the science behind the conservation use of rare-earth magnets". En *Journal of the American Institute for Conservation*: 96-116. <https://doi.org/10.1080/01971360.2016.1153819>

STERP MOGA, E., SÁNCHEZ ORTIZ, A. (2022). "Neodymium Magnets as a Minimal Intervention Alternative to Traditional Treatments for Fixing Paint on Contemporary Paintings". En *Journal of the American Institute* 61 (4): 275-83. <https://doi.org/10.1080/01971360.2021.1980696>

SUGIMOTO, S. (2011). "Current status and recent topics of rare-earth permanent magnets". En *J. Phys D. Appl. Phys.* 44. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/44/6/064001>

SZOZDA, Z., ZUREK, S. (2024). "Magnets in Conservation of Easel Paintings: Mechanical Forces between Magnets and a Thin Paint Layer". En *Studies in Conservation*. <https://doi.org/10.1080/00393630.2024.2429342>

TEIXEIRA, J. (2024). El uso de hojas magnéticas en el tratamiento vertical de deformaciones puntuales de los soportes textiles de pinturas contemporáneas. *Ge-Conservación*, 26(1): 148-160. <https://doi.org/10.37558/gec.v26i1.1234>

TIPLER, P. A. (1992). *Física*. Tomo I. 3a. ed. Barcelona: Reverté.

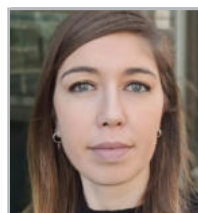
VVAA. (2015). *Jacques Lipchitz in München und Florenz. Bildhauerzeichnungen 1910-1972*, edición Giunti Editori Florencia.

WILKINSON, A. (2000). *The Sculpture of Jacques Lipchitz -A catalogue Raisonné, Volume One - The Paris Years 1910-1940, Volume Two - The American Years 1941-1973*. London and New York: Thames and Hudson.

WILKINSON, A. (1998). *Lipchitz dans les Jardins du Palais Royal*, París, France: Les Jardins du Palais Royal.

YVARS, J. E. and YBARRA, L. (1997). *Cartas a Lipchitz y algunos inéditos del artista*. Madrid: Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía.

Autor/es



M. Azahara Rodríguez

merodrod@alumni.upv.es

Instituto Universitario de Investigación del Patrimonio. Universitat Politècnica de València

<https://orcid.org/0000-0002-6318-8069>

Licenciada en Bellas Artes y graduada en Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural ambas por la UCM y doctora en ciencia y restauración del patrimonio histórico artístico por la UPV. Es técnico superior de investigación del Instituto de Restauración del Patrimonio de la UPV desde 2021 desarrollando sus líneas de investigación en la aplicación de las nuevas tecnologías a la restauración del patrimonio cultural y búsqueda de soluciones poco invasivas y reversibles. Ha impartido diferentes cursos sobre la realización de reproducciones y copias. Posee publicaciones en diversas revistas especializadas, tanto nacionales como internacionales y ha participado en encuentros y congresos específicos publicando en las actas también.



Laura Osete Cortina

losete@rcbc.upv.es

Facultad de Bellas Artes. Universitat Politècnica de València

<https://orcid.org/0000-0003-0709-5885>

Doctora en Química por la Universitat de València. Es profesora asociada en la UPV desde 2017 y, actualmente, investigadora en la Universidad de Innsbruck (Austria). Especialista en análisis físico-químico de materiales del patrimonio, ha desarrollado estrategias analíticas multitécnica aplicadas a más de 350 estudios técnico-científicos para instituciones nacionales e internacionales, estudios de arquitectura y empresas del sector. Entre 2006 y 2009 trabajó como responsable de laboratorio en CLAR Rehabilitación (área de Levante), realizando análisis de materiales, seguimiento técnico de intervenciones y asesoría a instituciones. Ha participado en 14 proyectos de I+D y es autora de más de 50 publicaciones en revistas científicas de alto impacto. Ha dirigido numerosos trabajos académicos, algunos reconocidos con premios de investigación. Su labor docente destaca por la innovación metodológica, reconocida con varios galardones institucionales. Es evaluadora en revistas científicas especializadas, tanto en el ámbito químico como en el de la conservación-restauración.



Xavier Mas-Barberà

jamasbar@upvnet.upv.es

Facultad de Bellas Artes. Universitat Politècnica de València

<https://orcid.org/0000-0001-6654-624X>

Profesor Catedrático de Universidad en el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Facultad de Bellas Artes de la Universitat Politècnica de València (UPV). Investigador miembro del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio (IRP) de la UPV, en el Laboratorio de C+R de Escultura

y elementos Ornamentales. Participa en diversos contratos y proyectos de I+D+i y dirige diferentes proyectos de investigación desarrollando nuevas metodologías basadas en la aplicación de materiales y técnicas en los procesos de tratamiento y reproducción de obras de arte. La relevancia de estos trabajos queda patente en diversas publicaciones en revistas nacionales e internacionales, actas de congresos especializados y contribuciones a libros. Asimismo, ha desarrollado una notable actividad de transferencia de tecnología con diferentes empresas, así como con administraciones públicas con un doble propósito, i) el análisis de la obra de arte, su diagnóstico y tratamientos de conservación curativa; y, ii) el diseño de soluciones tecnológicas para el tratamiento de restauración de materiales porosos inorgánicos del Patrimonio Cultural.

Artículo enviado 31/03/2025
Artículo aceptado el 03/10/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1375>

Evaluación de la efectividad antimicrobiana de la luz UV-C 222 nm como estrategia de tratamiento para la preservación de especímenes biológicos en líquido de la Colección “José Ricardo Cure Hakim” de la Universidad Militar Nueva Granada

Maria Alejandra Gonzalez-Torres, Nelsy Rocio Pinto-Sanchez

Resumen: Las colecciones biológicas son registros de biodiversidad. No obstante, el biodeterioro representa una amenaza para su conservación por lo que resulta crucial evaluar tratamientos que mitiguen los daños asociados. Este artículo evaluó la efectividad antimicrobiana de la luz UV 222 nm frente a microorganismos en la piel de especímenes de vertebrados preservados en líquido de la colección “José Ricardo Cure Hakim”, Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá, Colombia. Los microorganismos fueron obtenidos por hisopado, aislados e identificados molecular y morfológicamente. La actividad antimicrobiana *in vitro* se evaluó con microorganismos sobre perlas de vidrio en 4 tiempos. Tras la irradiación se realizaron cálculos de porcentajes de inhibición. El efecto sobre ejemplares se analizó mediante hisopado. Se identificaron géneros de *Bacillus* y *Paenibacillus*. La luz UV 222 nm mostró efecto inhibitorio sobre el crecimiento bacteriano *in vitro* y en ejemplares. Los hallazgos sugieren nuevas estrategias para mitigar el biodeterioro en colecciones biológicas en líquido.

Palabras clave: Colecciones biológicas, biodeterioro, microorganismos, *Bacillus*, *Paenibacillus*

Evaluation of the antimicrobial effectiveness of 222 nm UV-C light as a treatment strategy for the preservation of biological specimens in liquid from the “José Ricardo Cure Hakim” Collection at Universidad Militar Nueva Granada

Abstract: Biological collections are records of biodiversity. However, biodeterioration threatens their conservation, making evaluating treatments that mitigate the associated damage crucial. This article assessed the antimicrobial effectiveness of 222 nm UV light against microorganisms on the skin of vertebrate specimens preserved in liquid from the “José Ricardo Cure Hakim” collection at Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá, Colombia. Microorganisms were obtained by swabbing, isolated, and identified molecularly and morphologically. *In vitro*, antimicrobial activity was evaluated with microorganisms on glass beads at four time points. After irradiation, percentage inhibition was calculated. The effect on specimens was analyzed by swabbing. *Bacillus* and *Paenibacillus* genera were identified. 222 nm UV light showed an inhibitory effect on bacterial growth *in vitro* and on specimens. The findings suggest new strategies to mitigate biodeterioration in liquid biological collections.

Keywords: Biological collections, biodeterioration, microorganisms, *Bacillus*, *Paenibacillus*

Avaliação da eficácia antimicrobiana da luz UV-C de 222 nm como estratégia de tratamento para a preservação de espécimes biológicos em líquido da Coleção “José Ricardo Cure Hakim” da Universidade Militar Nueva Granada

Resumo: As coleções biológicas constituem registros de biodiversidade. Contudo, a biodeterioração representa uma ameaça à sua conservação, sendo, por isso, essencial avaliar tratamentos que mitiguem os danos associados. Este artigo avaliou a eficácia antimicrobiana da luz UV de 222 nm face a microrganismos presentes na pele de espécimes de vertebrados preservados em líquido da coleção “José Ricardo Cure Hakim”, da Universidade Militar Nueva Granada, em Cajicá, Colômbia. Os microrganismos foram obtidos por zaratogão, isolados e identificados molecular e morfológicamente. A atividade antimicrobiana *in vitro* foi avaliada com microrganismos sobre esferas de vidro em quatro intervalos de tempo. Após a irradiação, calcularam-se os percentuais de inibição. O efeito sobre os

exemplares foi analisado através de zaragatoas. Identificaram-se géneros de *Bacillus* e *Paenibacillus*. A luz UV de 222 nm demonstrou um efeito inibitório sobre o crescimento bacteriano *in vitro* e nos exemplares. Os resultados sugerem novas estratégias para mitigar a biodeterioração em coleções biológicas conservadas em líquido.

Palavras-chave: coleções biológicas, biodeterioro, microrganismos, *Bacillus*, *Paenibacillus*

Introducción

Las colecciones biológicas son repositorios en donde se encuentran almacenados especímenes bajo condiciones que permiten mantenerlos en un estado adecuado a través del tiempo (Trujillo, Triviño y Salazar 2014: 97-106). Los especímenes depositados en colecciones contienen información detallada sobre su lugar de origen y están acompañados de datos complementarios (Hilton, Watkins-Colwell y Huber 2021: 379-391).

En Colombia, existen aproximadamente 1.285.425 especímenes de vertebrados depositados en colecciones biológicas a lo largo del territorio (Arbeláez-Cortés, Acosta-Galvis, Donascimento, González Alvarado y Medina 2017: 97-016). Tal es el caso de la colección "José Ricardo Cure Hakim", de la Universidad Militar Nueva Granada (CZCH), donde se conservan alrededor de 645 especímenes depositados en etanol al 75 %. Los ejemplares pasan primero por un proceso de fijación en formol durante 10 días y posteriormente son transferidos al etanol, que actúa como medio de preservación a largo plazo.

La conservación en líquido es una técnica utilizada en museos y colecciones para preservar especímenes biológicos (Cersoy y Herbin 2022: 157-169). Con el tiempo, esta metodología ha evolucionado para preservar tanto la apariencia externa como los órganos y tejidos internos (Sablier, Davron y Herbin 2020: 87-100). Sin embargo, los especímenes en líquido son vulnerables al biodeterioro causado por microorganismos que degradan lípidos y proteínas, afectando al color, la estructura y otros caracteres externos. Asimismo, en especímenes almacenados en seco también se han documentado procesos de deterioro atribuibles a la acción de microorganismos (Carrillo Chávez, Arias Bermúdez, Nieto Vanegas, Pinto Sánchez y Patiño 2023). Algunos, como *Penicillium sp.*, *Cladosporium sp.*, *Scopulariopsis sp.*, *Aspergillus sp.* y *Trichophyton sp.*, desarrollan preferencia por materiales como la queratina y la celulosa, los cuales son comunes en los tejidos de reptiles y aves haciéndolos susceptibles a la colonización microbiana (Arenas-Castro, Muñoz-Gómez, Uribe-Acosta, Castaño-Castaño y Lizarazo-Medina 2016).

Entre los factores que favorecen el fenómeno de biodeterioro se destaca la contaminación que ocurre durante la manipulación del ejemplar (Yeates, Zwick y Mikheyev 2016: 83-88). Adicionalmente pueden presentarse fenómenos de resistencia al etanol debido a respuestas de estrés de los microorganismos. Además, la presencia de endosporas bacterianas permite mayor resistencia a fenómenos adversos (Nguyet, Furutani, Ander, Izawa 2022; Kampf 2018). De igual manera, la fijación inapropiada, el uso de alcohol de baja calidad, el estado de los frascos de almacenamiento y la calidad de las etiquetas que

están en contacto con el espécimen favorecen los procesos de biodeterioro (Simmons 2014). Por ello, la elección del líquido, calidad de los frascos de almacenamiento y fijación adecuada son esenciales para prevenir la contaminación de los especímenes y mantenerlos en condiciones favorables a lo largo del tiempo.

Debido a lo mencionado, el biodeterioro tiene graves consecuencias al provocar pérdidas de especímenes de colecciones que son el registro de la biodiversidad (Wen, Ickert-Bond, Appelhans, Dorr y Funk 2015: 477-488). En este sentido, la preservación de especímenes cobra mayor relevancia en la actualidad, ya que en los últimos años su valor ha incrementado, gracias a la digitalización de la información (Meineke, Davies, Daru y Dabis 2019). Para minimizar el riesgo y asegurar su conservación, es de gran importancia realizar la identificación de los microorganismos presentes. El proceso de identificación permite comprender la naturaleza de la amenaza y, al mismo tiempo, es fundamental para implementar estrategias efectivas de conservación y mitigación (Branysova, Demnerova, Durovic y Stiboroca 2022: 245-260). Estudios previos han explorado métodos alternativos que minimizan el biodeterioro en colecciones biológicas sin comprometer la calidad de los especímenes. Dentro de estos destacan el uso de aceites esenciales (*Myristica fragrans*) y biocidas (amonio cuaternario, óxido de etileno, acroleína y aldehídos diaminas) (Faheem 2019: 554-571; Kakakhel, Wu, Gu, Feng, Shah y Wang 2019). No obstante, estos compuestos pueden ser nocivos tanto para el operador como para el espécimen, sin lograr erradicar por completo los microorganismos.

En particular, se han evaluado biocidas como el alcohol isopropílico y el etanol. En los operadores, su uso puede provocar irritación en la piel, vías respiratorias o el sistema digestivo, e incluso afectar el hígado y riñones (Mohapatra, Yutao, Goh, Ng, Luhua, Tran & Gin 2023; 3-10). Por su parte, en los especímenes, estos compuestos pueden alterar el color de los tejidos, plumajes y pieles, comprometiendo la apariencia y la integridad visual del ejemplar (Neisskenwirth y Troxler 2021; 69-73). Por lo tanto, es esencial implementar un protocolo eficaz que garantice la preservación adecuada de los especímenes presentes en las colecciones biológicas. Entre las herramientas utilizadas para el control de microorganismos, se ha reportado el uso de luz ultravioleta (UV-C) a una longitud de onda correspondiente a 222 nm. La luz UV-C suprime la actividad microbiana al dañar su material genético, formando dímeros en las bases de ácidos nucleicos. Este proceso ocurre cuando una muestra se expone a radiación en el rango de 200 a 280 nm. Los fotones de la radiación transforman las purinas y pirimidinas del ADN o ARN en energía vibracional, alterando su estado y generando daños en el material genético de los microorganismos (Cutler y Zimmerman 2011: 15-23).

Investigaciones con luz UV-C han mostrado resultados efectivos en la inhibición de la actividad bacteriana, sin inducir lesiones mutagénicas en el tejido tratado (Buonanno, Ponnaiya, Welch, Stanislauskas, Randers-Pehrson, Sminelov, Lowy, Owens y Brenner 2017: 483-491). Una gran variedad de estudios ha corroborado la efectividad de la luz UV-C a 222 nm, observando inactivación de más del 90 % en bacterias como *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* tras solo dos minutos de exposición (Xie, Tse, Man, Cheung, Wong, Lam, Huang y Leung 2022: 17-34). Estos avances, se encuentran relacionados con trabajos más actuales que examinaron el efecto biológico de la luz UV a 222 y 254 nm en la piel de humanos y ratones in vivo. Estos hallazgos coinciden con estudios recientes donde se ha observado que la exposición a la luz UV a 222 nm resulta en menos lesiones en el ADN que la exposición a la luz UV a 254 nm (Tavares, Adamoski, Girasole, Lima, Da Silva Justo-Junior, Domingues, Silveira, Marques, De Carvalho, Amrosio, Leme y Dias 2023).

Actualmente, no existen estudios que evalúen los efectos de la luz ultravioleta sobre los especímenes preservados en líquidos. A su vez, no se dispone de estudios que evalúen específicamente la radiación a 222 nm en ejemplares de colección. No obstante, en otros contextos de aplicación se ha publicado que esta longitud de onda no causa daños en capas superficiales, lo que abre la posibilidad de explorar su uso seguro en colecciones biológicas (Buonanno, Ponnaiya, Welch, Stanislauskas, Randers-Pehrson, Sminelov, Lowy, Owens y Brenner 2017: 483-491).

Sobre la base de lo anterior, la implementación de la metodología con luz UV-C podría permitir la preservación a largo plazo de valiosas colecciones de especímenes, ampliando así el potencial de contribución al conocimiento científico. Este artículo es una continuación y ampliación de un estudio previo que demuestra la efectividad de la luz UV 222 nm en la reducción de microorganismos presentes en colecciones biológicas preservadas en líquido (González, Patiño y Sánchez, manuscrito no publicado). A partir de estos resultados, se evaluó la efectividad antimicrobiana de la luz UV 222 nm frente a los microorganismos presentes en la piel de especímenes de vertebrados conservados en líquido de la colección zoológica "José Ricardo Cure Hakim". Es importante mencionar que este estudio representa un primer acercamiento al método; por lo tanto, los resultados obtenidos servirán como referencia para investigaciones futuras, en las que se espera aumentar el número de especímenes analizados (N) y emplear herramientas adicionales que contribuyan a la mejora del nuevo método expuesto.

Metodología

—Selección de especímenes, toma de muestras y caracterización morfológica de microorganismos

En primer lugar, se realizó la selección de los especímenes mediante el criterio de observación de posibles indicadores de crecimiento de microorganismos sobre el ejemplar. De los especímenes seleccionados, se tomaron muestras mediante la técnica de hisopado, siguiendo el

protocolo descrito por Simmons y Muñoz-Saba (2005). Posteriormente, las muestras obtenidas se sembraron en agar nutritivo a 37 °C y agar Sabouraud a 25 °C durante 7 días. Las colonias bacterianas aisladas del líquido de conservación (etanol al 75 %) en el que se encontraban preservados los especímenes se purificaron mediante dilución y agotamiento; posteriormente se caracterizaron macroscópicamente y microscópicamente con tinción de Gram.

—Identificación molecular de microorganismos

Una vez obtenidos los cultivos puros, se almacenaron a una temperatura de 3,5 °C para su transporte al Laboratorio Instrumental de Alta Complejidad (LIAC) de la Universidad de La Salle. En primer lugar, se realizó la extracción del ADN bacteriano utilizando un kit de extracción, siguiendo los protocolos estándar del LIAC. Este proceso involucró lisis celular para liberar el ADN y su purificación. Posteriormente, el ADN se usó para la amplificación del gen 16s del ARN mediante PCR, utilizando los cebadores 27F y 1492R. El ADN amplificado se purificó y se secuenció mediante la técnica de Sanger (Muñoz, Moreno y Verri 2011). Las secuencias obtenidas fueron analizadas con programa Nucleotide BLAST®, que realizó comparaciones con la base de datos del National Center for Biotechnology Information (NCBI).

—Evaluación del efecto antimicrobiano de la luz UV 222 nm (in vitro)

Para evaluar el efecto antimicrobiano de la luz UV 222 nm, se seleccionaron los microorganismos aislados de los especímenes. Dado el tipo de crecimiento de las bacterias sobre los ejemplares biológicos en capas que forman biopelículas, se adaptó la metodología propuesta por Alharbi, Bakitian y Alenzi (2021) para verificar si la luz UV 222 nm inhibe el crecimiento de los microorganismos. Para tal fin, cada aislamiento bacteriano se cultivó en caldo CASO y se incubó durante 24 horas a 37 °C. Posteriormente, se dispusieron perlas de vidrio estériles (4 mm) en tubos Eppendorf de 2 ml que contenían 1 ml de caldo CASO, cada placa se inoculó con 100 µl del cultivo y se llevó a incubación durante 5 días a 37 °C (Konrat, Schwebke, Laue, Dittmann y Levin 2016). La exposición a la luz UV 222 nm se realizó disponiendo las perlas con crecimiento en la tapa de una caja de Petri, de tal manera que la luz impactara directamente sobre la superficie de la biopelícula (tres perlas por cada tratamiento y tres perlas de control sin exposición).

Se evaluaron diferentes tiempos de exposición a la luz UV 222 nm utilizando la lámpara de referencia UV Gerani Far-UV Light, UV-CAN (tecnología de KrCl) con intervalos de 5 a 35 minutos y aumentos de 10 minutos (Narita, Asano, Naito, Ohashi, Sasaki, Morimoto, Igrahi y Nakane 2020; Fukuda, Nishikawa, Kobayashi, Okabe, Fujii, Kubota, Otsuyama, Tsuneoka, Hashimoto, Suehiro, Yamasaki y Takami 2022:1268-1270). De igual manera, se evaluó una distancia de exposición correspondiente a 8 cm bajo la lámpara que emite radiación ultravioleta de 222 nm para comprobar el efecto sobre los microorganismos de prueba (Alharbi, Bakitian y Alenzi 2021).

Los tratamientos descritos se aplicaron en una cámara de exposición construida con madera.

Tras la exposición a la luz UV 222 nm, las perlas se depositaron en un tubo Eppendorf con 2 ml de solución salina al 0,85 % estéril, y se realizó el desprendimiento de los microorganismos sobre las perlas, utilizando vórtex tres minutos. Cabe aclarar que se usaron tubos Eppendorf estériles diferentes con solución salina estéril para el antes y el después del tratamiento (Alharbi, Bakitian y Alenzi 2021). De los tubos con los respectivos tratamientos, se realizaron diluciones seriadas correspondientes a 10^{-2} y 10^{-3} . Posteriormente, se sembraron 0,1 ml en agar nutritivo por cada caja de Petri para el recuento de UFC/ml (Alharbi, Bakitian y Alenzi 2021). Se calculó el porcentaje de inhibición con respecto al control sin exposición a la luz UV (Porcentaje de inhibición = $(\text{Control} - \text{Tratamiento}) / (\text{Control}) * 100$).

—Evaluación del efecto antimicrobiano de la luz UV 222 nm sobre ejemplares biológicos

Se seleccionaron especímenes para aplicar el tratamiento con mayor efectividad en el ensayo in vitro. Los especímenes estaban conservados en frascos de vidrio transparente, que contenían etanol al 75 % como líquido conservante. La selección se basó principalmente en la observación de signos visibles de contaminación microbiana y en el estado general de conservación. Entre las alteraciones registradas se evidenciaron capas superficiales de color amarillo claro con consistencia seca, depósitos viscosos y pegajosos amarillos adheridos a la piel, así como turbidez amarillenta en el líquido conservante. En algunos frascos también se observó el almacenamiento de múltiples especímenes en un mismo recipiente. A partir de estos ejemplares, se tomaron muestras de piel mediante la técnica de hisopado en un área de 1 cm², con el fin de determinar la carga microbiana inicial. Posteriormente, se sometió el espécimen a tratamiento de luz UV 222 nm durante 15 minutos (Katara, Hemvani, Chitnis, Chitnis y Chitnis 2008: 241) y después de la exposición se volvió a tomar una muestra microbiológica en el mismo cm² de la piel del espécimen (postratamiento). Para la exposición, cada ejemplar se retiró del frasco de conservación y se dispuso individualmente en una caja de Petri estéril, irradiando únicamente 1 cm² de la superficie, de manera que el área seleccionada de la piel quedara directamente expuesta a la radiación. Esta metodología se aplicó con el fin de garantizar una irradiación uniforme y evitar la interferencia del material de los frascos de conservación.

Las muestras fueron depositadas en tubos de ensayo con 9 ml de caldo CASO durante 24 horas a 37 °C, para posteriormente realizar diluciones correspondientes a 10^{-3} y 10^{-4} , sembrarlas en placa y realizar el recuento UFC/cm². Se reportaron los cambios mediante porcentaje de inhibición de los especímenes de prueba con respecto a la concentración de microorganismos antes de la exposición a la luz UV 222 nm (Porcentaje de inhibición = $(\text{Antes} - \text{Después}) / (\text{Antes}) * 100$). Se realizó la caracterización visual con registros fotográficos del antes y el después de los ejemplares. Al finalizar el procedimiento, el fluido conservante fue reemplazado por etanol fresco al 75 %, con el

fin de evitar la permanencia de posibles depósitos cromóforos u otros compuestos liberados por los tejidos en el medio original. Asimismo, se recomienda el uso de un colorímetro en futuros ensayos, a fin de cuantificar de manera objetiva y precisa eventuales variaciones en la coloración del fluido.

—Análisis estadísticos

Dado que los datos no seguían una distribución normal y los valores presentes en el eje X fueron categóricos (5 min, 15 min, 25 min y 35 min), se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (H) para evaluar si el porcentaje de inhibición varía con respecto a los tiempos de exposición (Sawyer, 2009). Tras identificar diferencias significativas, se llevó a cabo la prueba post hoc de Dunn para determinar qué pares de tiempos de exposición presentaban diferencias significativas.

Finalmente, para la evaluación antimicrobiana de la luz UV 222 nm sobre los ejemplares biológicos, se aplicó una prueba pareada de Wilcoxon. Esta prueba permitió verificar si existían diferencias significativas entre las mediciones de UFC/cm² antes y después del tratamiento con luz UV 222 nm.

Resultados

—Diagnóstico y caracterización de indicadores de biodeterioro

Inicialmente, se realizó una revisión de los 645 especímenes conservados en etanol presentes en la colección CZCH. Tras la revisión, se seleccionaron 18 especímenes de aves, anfibios y reptiles que presentaban posibles indicadores iniciales de biodeterioro como capas viscosas y filamentosas de colores blancos y amarillos sobre la piel. Sin embargo, tras el muestreo solo se obtuvo crecimiento bacteriano a partir de tres especímenes confirmando la afectación por biodeterioro. Entre los especímenes mencionados se encontró un ave (*Megascopus choliba*), un reptil (*Anolis tolimensis*), y un anfibio (*Pristimantis*).

—Caracterización morfológica de los microorganismos aislados a partir de los ejemplares biológicos

Se realizó la identificación morfológica de los microorganismos presentes en las muestras recolectadas, teniendo en cuenta las características macroscópicas de las colonias y la tinción de Gram, lo que permitió detectar un total de tres bacterias con morfologías diferentes de bacilos como se observa a continuación. Para identificar cada ejemplar evaluado se utilizaron las siguientes abreviaturas: Av (aves), A (anfibios) y R (reptiles).

—Identificación molecular de los microorganismos aislados a partir de los ejemplares biológicos

Las bacterias aisladas fueron secuenciadas utilizando amplificación en el gen 16S. La amplificación permitió la

identificación de distintas especies bacterianas con altos niveles de similitud [Tabla 1].

Ejemplar	Especie	Porcentaje identidad
CZCH-Av60	<i>Bacillus paralicheniformis</i>	99,58
	<i>Bacillus licheniformis</i>	
CZCH-A17	<i>Paenibacillus xylanexeden</i>	97,37
	<i>Paenibacillus amylolyticus</i>	
CZCH-R112	<i>Bacillus tequilensis</i>	100
	<i>Bacillus velezensis</i>	

Tabla 1.- Identificación de especies bacterianas aisladas mediante secuenciamiento del gen 16S. CZCH, Colección Zoológica "José Ricardo Cure Hakim" de la Unviersidad Militar Nueva Granada. CZCH-A (Anfibios), CZCH-R (Reptiles), CZDH-Av (Aves).. El porcentaje de identidad se refiere a cuánto se parecen dos secuencias de ADN, siendo 100 % idénticas y 0 %, totalmente diferentes.

— Evaluación del efecto antimicrobiano de la luz UV 222 nm (in vitro)

Las bacterias evaluadas alcanzaron una reducción de 2 a 3 unidades logarítmicas en la concentración de UFC/ml. A los 5 minutos de exposición a luz UV 222 nm, la reducción varía entre 1 y 2 unidades logarítmicas, mientras que a los

15 minutos de exposición a luz UV 222 nm, la disminución comienza a acercarse a las 3 unidades logarítmicas en las bacterias evaluadas. Se evidencia que el control, donde no se aplica ningún tiempo de exposición con luz UV 222 nm, la concentración de bacterias es elevada [Figura 1]. A partir de los 5 minutos de exposición a la luz UV 222 nm, se observa una disminución en la concentración bacteriana. Este descenso alcanza los valores más bajos en tiempos prolongados de 25 y 35 minutos.

En la Figura 2 se refleja lo obtenido en términos de porcentajes de inhibición de crecimiento bacteriano para cada una de las bacterias extraídas por ejemplar. A partir de los 5 minutos de exposición, la mayoría de las bacterias alcanzan valores cercanos al 90% de inhibición. Mientras que a los 15 minutos de exposición a luz UV 222 nm la inhibición se acerca al 99 % en la mayoría de las bacterias evaluadas. Para evaluar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos con luz UV 222 nm, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis (H), la cual mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p<0,05$). Posteriormente, se realizó la prueba *Post hoc* de Dunn para identificar las diferencias específicas, encontrando diferencias significativas únicamente entre los tiempos de exposición de 5 y 15 minutos ($p<0,05$). A partir de los 15 minutos, no se observaron diferencias significativas, lo que indica que los porcentajes de inhibición son muy similares después de los 15 minutos de exposición.

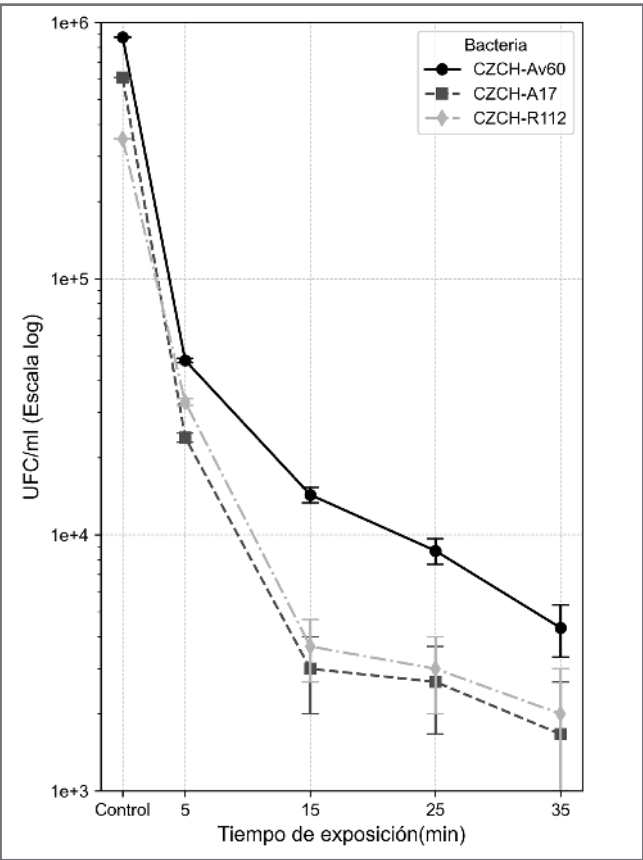


Figura 1.- Recuento en placa en función del tiempo de exposición a luz UV 222 nm de bacterias aisladas a partir de los ejemplares (*in vitro*). CZCH, Colección Zoológica "José Ricardo Cure Hakim" de la Unviersidad Militar Nueva Granada. CZCH-A (Anfibios), CZCH-R (Reptiles), CZDH-Av (Aves).

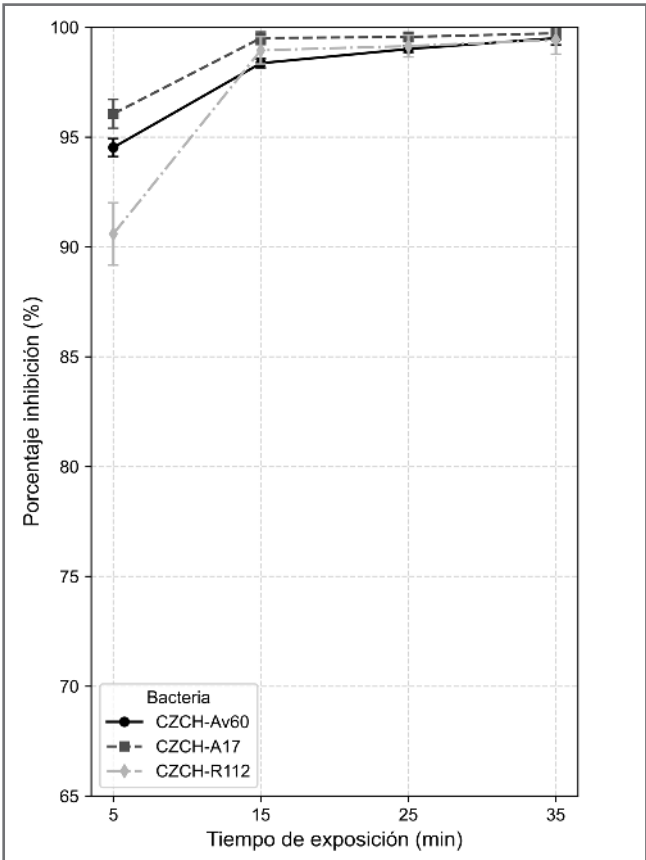


Figura 2.- Recuento en placa en función del tiempo de exposición a luz UV 222 nm de bacterias aisladas a partir de los ejemplares (*in vitro*). CZCH, Colección Zoológica "José Ricardo Cure Hakim" de la Unviersidad Militar Nueva Granada. CZCH-A (Anfibios), CZCH-R (Reptiles), CZDH-Av (Aves).

— Evaluación del efecto antimicrobiano de la luz UV 222 nm sobre ejemplares biológicos

Basado en la evaluación in vitro, se determinó un tiempo de prueba correspondiente a 15 minutos. El tiempo de exposición a luz UV 222 nm seleccionado se aplicó sobre los ejemplares, ya que las pruebas estadísticas demostraron que, a partir de este tiempo, no había diferencias significativas en los porcentajes de inhibición alcanzados de manera in vitro.

El análisis reflejó una disminución en el número de colonias y UFC/cm2 después de los 15 minutos de exposición a luz UV 222 nm sobre cada uno de los ejemplares. Al realizar la prueba de Wilcoxon se encontraron diferencias significativas entre el antes y el después del tratamiento con exposición durante 15 minutos con luz UV 222 nm ($p<0,05$) [Figura 3].

Ejemplar	Porcentaje de inhibición (%)
CZCH-Av60	76,19
CZCH-A17	70,56
CZCH-R112	67,85

Tabla 2.- Porcentaje de inhibición alcanzado por ejemplar después de la exposición a luz UV 222 nm durante 15 minutos. CZCH, Colección Zoológica "José Ricardo Cure Hakim" de la Unviersidad Militar Nueva Granada. CZCH-A (Anfibios), CZCH-R (Reptiles), CZDH-Av (Aves).

Antes de la irradiación	Después de la irradiación
CZCH-Av60	
	
CZCH-A17	
	
CZCH-R112	
	

Tabla 3.- Evaluación antimicrobiana de luz UV222 nm sobre los ejemplares. CZCH, Colección Zoológica "José Ricardo Cure Hakim" de la Unviersidad Militar Nueva Granada. CZCH-A (Anfibios), CZCH-R (Reptiles), CZDH-Av (Aves).

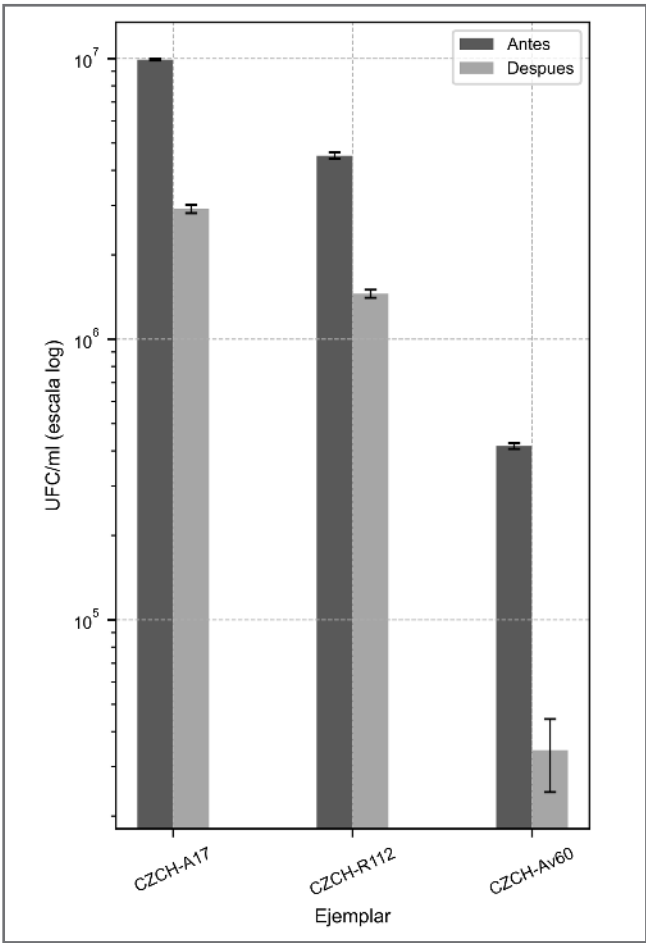


Figura 3.- Recuento en placa por ejemplar evaluado antes y después de la exposición a luz UV 222 nm. CZCH, Colección Zoológica "José Ricardo Cure Hakim" de la Unviersidad Militar Nueva Granada. CZCH-A (Anfibios), CZCH-R (Reptiles), CZDH-Av (Aves).

Discusión

— Diagnóstico y caracterización de indicadores de biodeterioro

Únicamente 3 de los 18 especímenes con indicadores visuales de biodeterioro mostraron crecimiento de bacterias, confirmando así la existencia de biodeterioro. Esto sugiere que los signos visibles de biodeterioro pueden tener orígenes no biológicos, como reacciones químicas provocadas durante la conservación de los especímenes (Negi y Sarethy 2019:1014-1029). En algunos de los especímenes que no tuvieron crecimiento microbiano se observaron capas viscosas de colores rosados y amarillos, que pudo haber sido originado por la descomposición de los compuestos orgánicos en el líquido preservante.

Estos hallazgos permiten afirmar que la colección tratada se encuentra en buenas condiciones. Sin embargo, deben considerarse otros factores que pueden afectar su preservación, como el uso de frascos con cierres inadecuados o materiales de baja calidad, que pueden favorecer la evaporación del líquido y, con ello, comprometer la integridad de los especímenes a largo plazo (Simmons y Muñoz-Saba

2005). Durante la revisión se evidenció este problema en algunos frascos, lo que ocasionó la evaporación del líquido y una disminución en la concentración de etanol, condición que pudo favorecer la proliferación microbiana. En este sentido, se recomienda el uso de alcoholímetros en posteriores estudios para verificar la concentración de etanol.

Los análisis realizados evidenciaron la presencia de bacterias, por lo que la evaluación inicial se enfocó únicamente en ellas. No obstante, se proyecta ampliar la investigación hacia el análisis del efecto antifúngico en ejemplares conservados en líquido y seco.

— *Identificación molecular de los microorganismos aislados a partir de los ejemplares biológicos*

La mayoría de los microorganismos aislados fueron identificados como miembros del género *Bacillus*. Este género ha sido ampliamente documentado en diversos estudios sobre microorganismos extraídos de colecciones zoológicas. Un análisis realizado por Carrillo Chávez, Arias Bermúdez, Nieto Vanegas, Pinto Sánchez y Patiño (2023), documentó la presencia de estas bacterias en plumas y piel de aves conservadas en seco presentes en una colección biológica de Colombia. Lo anterior sugiere la gran capacidad del género *Bacillus* para colonizar este tipo de sustratos. Asimismo, se ha observado que *Bacillus* coloniza la piel de anfibios y reptiles en colecciones zoológicas (Ienes-Lima, Prichula, Abadie, Giaretta, Cechin, Lucas y Oliveira 2023), lo cual respalda los resultados obtenidos en el presente estudio. En este contexto, la alta humedad ambiental registrada en la colección analizada (75 % a 80 %) podría haber favorecido el crecimiento del género *Bacillus*, ya que la disponibilidad de agua es un factor determinante para la proliferación microbiana en especímenes preservados.

Por otro lado, algunas de las especies aisladas como *Bacillus amyloliquefaciens* presentan una alta producción de proteasas, las cuales descomponen proteínas como el colágeno y la queratina que están presentes en las plumas de las aves. A su vez, la especie *Bacillus velezensis* produce lipasas que degradan lípidos y grasas, componentes de las capas externas de la piel (Latorre, Hernández-Velasco, Wolfenden, Vicente, Wolfenden, Menconi, Bielke, Hargis y Téllez 2016). Estos hallazgos concuerdan con los resultados del presente trabajo, en el cual se identificó la presencia de *Bacillus amyloliquefaciens* en un ejemplar de ave [Tabla 1].

En un análisis realizado en una colección anatómica conservada en líquido se encontraron especies como *Bacillus cereus* y *Bacillus thuringiensis* (Domanski, Janczura, Wanat, Wiglusz, Grajzer, Simmons, Domagała y Szepietowski 2023). Esto difiere un poco de lo encontrado en el presente estudio ya que no se hallaron ese tipo de especies bacterianas debido a la diferencia de especímenes tratados y otros factores como la variación en las condiciones ambientales (temperatura y humedad) y la concentración del líquido conservante. Sin embargo, se observa una similitud en cuanto al género

Bacillus. Por otro lado, el género *Paenibacillus* no ha sido documentado con la misma frecuencia en el ámbito de colecciones biológicas. No obstante, *Paenibacillus* ha sido encontrado en la piel de anfibios como *Pelophylax perezii*, antes de ser recolectados (Proença, Fasola, Lopes y Morais 2021). Esto sugiere que, tras la conservación, almacenamiento y manipulación, estas bacterias pueden permanecer activas y contribuir al biodeterioro de los especímenes. Las bacterias aisladas se caracterizan por desarrollar resistencia al líquido de preservación en el que se encuentran junto al espécimen, en este caso, el etanol. Especies como *Bacillus spp.* y algunas relacionadas como *Paenibacillus*, se caracterizan por presentar esta resistencia, generada por endosporas (Pious 2011).

Es importante mencionar que la eficacia del etanol como conservante depende en gran medida de su concentración. En condiciones ideales debe mantenerse al 75 %. Sin embargo, factores como la evaporación del líquido, que incrementa la proporción de agua frente al alcohol, o el uso de frascos mal sellados, pueden disminuir la concentración y con ello favorecer la persistencia y proliferación bacteriana. Asimismo, es fundamental garantizar que el volumen de etanol cubra completamente el espécimen, ya que una cobertura deficiente representa un riesgo adicional para su preservación a largo plazo. Estas condiciones facilitan la supervivencia bacteriana y pueden ejercer presión selectiva que favorece la resistencia de ciertos microorganismos al medio de conservación.

— *Evaluación del efecto antimicrobiano de la luz UV 222 nm (in vitro)*

Los resultados obtenidos indican que la exposición in vitro a la luz UV 222 nm reduce la concentración de microorganismos. Esta disminución se hace más pronunciada a medida que aumenta el tiempo de exposición, lo que muestra una inhibición del crecimiento bacteriano con valores cercanos o iguales al 90 % a los 5 minutos. Sin embargo, a partir de los 15 minutos, la inhibición se estabiliza en un 99 %, lo que sugiere que los cambios adicionales en la inhibición y la carga microbiana son mínimos a partir de ese punto. Esto indica que se ha alcanzado un umbral donde el tiempo adicional de exposición a la luz UV 222 nm no aumenta notablemente el porcentaje de inhibición del crecimiento bacteriano, evidenciando que la inhibición se mantiene constante. Por lo tanto, para evitar posibles riesgos asociados a una exposición prolongada, es recomendable utilizar un tiempo de exposición menor (Ning, Han, Liu, Liu, Sun, Wang, Wang, Gao, Wang, Wang, Gao, Chen, y Li 2023). No obstante, aún bajo estas condiciones no se logra una esterilización absoluta, lo que plantea la necesidad de considerar tratamientos periódicos o complementarios con otras medidas de conservación, como el cambio del líquido preservante y el control de condiciones ambientales. Asimismo, es importante señalar que este estudio corresponde a una fase inicial exploratoria, por lo que se recomienda continuar con investigaciones futuras que integren herramientas adicionales como el uso de colorimetría y análisis genético de los ejemplares, con el fin de evaluar de manera más precisa los efectos de la luz UV.

En línea con estos hallazgos, el comportamiento observado en los porcentajes altos de inhibición a partir de los 15 minutos en la mayoría de las bacterias tratadas sugiere que el tratamiento con luz UV-C genera reducción de la carga microbiana. En 2024, Peterson y colaboradores emplearon dosis acumulativas de luz UV de 222 nm, ajustando la irradiancia (mW/cm^2) en función de los tiempos de exposición. En su estudio, observaron que la luz UV-C a 222 nm lograba una inhibición del 90 % en bacterias como *Bacillus pumilus* y *Bacillus subtilis* con una irradiancia de $4,0 \text{ mW}/\text{cm}^2$. Estos resultados difieren de los obtenidos en el presente trabajo. Esta disparidad podría atribuirse a múltiples factores, como la diferencia entre el tipo de microorganismos, la distancia de luz sobre las muestras, y la potencia y configuración de la lámpara UV-C. No obstante, en un análisis realizado por Górný, Golofit-Szymczak, Palak, Lawniczek-Walczyk, Cyprowski, Stobnicka, Plocinska y Kowalska (2024), se demostró que *Bacillus subtilis* presenta inhibición del 99 % a los 20 minutos de exposición a la luz UV 222 nm. Este resultado concuerda con lo obtenido en el presente estudio donde se observaron porcentajes de inhibición del 99 % a partir de los 15 minutos de exposición.

Es importante recordar que las lámparas de luz UV usadas convencionalmente como germicidas tienen una longitud de onda de 254 nm. La longitud de 254 nm genera daños en la superficie de la piel tanto de humanos como animales penetrando profundamente y causando dimerización de las pirimidinas presentes en el ADN. Sin embargo, la luz UV manejada a una longitud de onda de 222 nm tiene una penetración superficial que afecta únicamente las capas más externas de la piel sin inducir efectos genotóxicos significativos (Yamano, Kunisada, Kaidzu, Sugihara, Nishiaki-Sawada, Ohashi, Yoshioka, Igarashi, Ohira, Tanito y Nishigori 2020). Por tanto, el uso de una longitud de onda de 222 nm es fundamental, ya que permite la prevención y/o disminución del biodeterioro, sin causar daños en el ADN de los ejemplares, preservando así su integridad para estudios futuros. Esto garantiza que los especímenes puedan ser monitoreados y analizados sin comprometer su información genética ni la calidad de su piel tras la exposición.

— Evaluación del efecto antimicrobiano de la luz UV 222 nm sobre ejemplares

En la evaluación del efecto antimicrobiano sobre los ejemplares biológicos, se observó que los porcentajes de inhibición fueron menores en comparación con la evaluación antimicrobiana *in vitro*, debido a múltiples factores [Tabla 2]. Entre ellos se encuentran las estructuras de la piel, los pliegues y las texturas de los especímenes las cuales pueden impedir una exposición uniforme, creando áreas menos expuestas a la radiación UV (Linnie 2000:295-300). Además, estudios previos sobre la luz UV 222 nm en organismos *in vivo* han demostrado mayor inhibición en entornos más controlados. Esto se debe a que los ejemplares biológicos presentan variabilidad en cuanto a estructura y tamaño. Factores como la absorción desigual de la radiación y la protección natural

de los tejidos presentes en los ejemplares pueden reducir los niveles de inhibición (Weihs, Schmalwieser y Schaudberger 2012:609-688). En comparación, los estudios *in vitro* ofrecen condiciones completamente controladas y homogéneas.

Por otro lado, los especímenes no mostraron cambios notorios en sus características físicas, lo que sugiere que la longitud de onda utilizada en el tratamiento no causa alteraciones superficiales [Tabla 3]. Los cambios en las características físicas de los especímenes se midieron de manera cualitativa, mediante observaciones visuales de color, textura y forma de los tejidos, plumajes y pieles, complementadas con fotografías, dado que el presente estudio constituyó un acercamiento preliminar al método. Sin embargo, se recomienda que en estudios futuros se realice una evaluación cuantitativa utilizando instrumentos como colorímetros, lo que permitiría medir con mayor precisión posibles alteraciones. En contraste, Nishigori, Yamano, Kunisada, Nishiaki-Sawada, Ohashi y Igarashi (2023), realizaron mediciones cuantitativas y encontraron que la luz UV 222 nm no genera daños en la epidermis de organismos como ratones en comparación con otras longitudes de onda como 254 nm y 300 nm. Tomando en cuenta estos hallazgos y tras evaluar diferentes tiempos de exposición, se determinó que un tiempo de 15 minutos es el más apropiado para la irradiación con luz UV 222 nm, ya que no provoca desecación en los especímenes durante el proceso, logra altos porcentajes de inhibición y reduce la carga microbiana. El tratamiento con luz UV 222 nm puede ser eficaz para reducir y mitigar el biodeterioro en las colecciones biológicas, disminuyendo así el riesgo de que los microorganismos presentes desarrollen resistencia a productos como el etanol.

Conclusiones

Los microorganismos aislados fueron bacterias Gram positivas, identificadas como *Bacillus* y *Paenibacillus* mediante análisis molecular del gen 16S. La luz UV 222 nm redujo la concentración bacteriana en un 90 % a los 5 minutos de exposición, estabilizándose en un 99 % a los 15 minutos, sin incrementos adicionales. Por lo expuesto, se recomienda este tiempo para evitar los riesgos asociados con exposiciones prolongadas. Estos resultados demuestran la efectividad de la luz UV 222 nm para controlar la carga microbiana en especímenes preservados en etanol, ofreciendo una estrategia prometedora para la conservación de la colección zoológica "José Ricardo Cure Hakim" y el control del biodeterioro en colecciones biológicas. No obstante, para garantizar la reducción microbiana, es crucial la correcta elección de los métodos de conservación, los materiales de almacenamiento y los productos utilizados en la preservación, asegurando que minimicen las condiciones de crecimiento microbiano. La combinación de una irradiación adecuada con prácticas de conservación adecuadas contribuye a mantener la integridad de los ejemplares a largo plazo y a reducir significativamente los riesgos de biodeterioro en colecciones biológicas.

Agradecimientos

Agradecemos a Maria Camila Patiño quien fue la promotora de esta idea, y la persona que de forma directa sugirió el diseño experimental en este trabajo, y ha estado atenta al avance. La estudiante Camila Castro Linares fue de gran apoyo en el componente experimental. Estudio derivado del proyecto (INV-CIAS-3956) financiado por la Universidad Militar Nueva Granada - Vigencia (2023).

Referencias

- ALHARBI, M., BAKITIAN, F., & ALENZI, A. (2021). "Evaluation of bactericidal effects of ultraviolet light C irradiation on cariogenic bacteria: An in vitro study". *BMC Oral Health*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01767-x>.
- ARBELÁEZ-CORTÉS, E., ACOSTA-GALVIS, A., DONASCIMIENTO, C., GONZÁLEZ ALVARADO, A., MEDINA, C. (2017). "Knowledge linked to museum specimen vouchers: measuring scientific production from a major biological collection in Colombia". *Scientometrics*, 112(3): 1323–1341. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2461-4>.
- ARENAS-CASTRO, H., MUÑOZ-GOMEZ, S. A., URIBE-ACOSTA, M., CASTANO-CASTANO, L., LIZARAZO-MEDINA, P. (2016). "Richness cellulytic activity, and fungicide susceptibility of fungi from a bird biological collection". *Acta biológica colombiana*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/61227>.
- BRANYSOVA, T., DEMNEROVA, K., DUROVIC, M., & STIBOROCA, H. (2022). "Microbial biodeterioration of cultural heritage and identification 2of the active agents over the last two decades". In *Journal of Cultural Heritage* 55: 245–260). <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.03.013>.
- BUONANNO, M., PONNAIYA, B., WELCH, D., STANISLAUSKAS, M., RANDERS-PEHRSON, G., SMINELOV, L., LOWY, F., OWENS, D., BRENNER, D. (2017). "Germicidal efficacy and mammalian skin safety of 222-nm UV light". *Radiation Research*, 187(4): 483–491. <https://doi.org/10.1667/RR0010CC.1>.
- CARRILLO CHAVEZ, L. M., ARIAS BERMÚDEZ, N., NIETO VANEGAS, M. J., PINTO SANCHEZ, N. R., & PATIÑO, M. C. (2023). "Study of biodeterioration and evaluation of proteolytic activity caused by microorganisms in specimens of a zoological collection in Colombia". *Conservar Patrimonio*. <https://doi.org/10.14568/cp24895>.
- CERSONY, S., HERBIN, M. (2022). "Wet collections: preserving their values for the future! Heritage for the Future, Science for Heritage, A European Adventure for Research and Innovation". *HAL open science*. 157–169. <https://hal.science/hal-03889249v1>.
- CUTLER, T., ZIMMERMAN, J. (2011). "Ultraviolet irradiation and the mechanisms underlying its inactivation of infectious agents". In *Animal health research reviews* .12(1): 15–23. <https://doi.org/10.1017/S1466252311000016>.
- DOMÁNSKI, J., JANCZURA, A., WANAT, M., WIGLUSZ, K., GRAJZER, M., SIMMONS, J.E., DOMAGALA, Z., & SZEPIETOWSKI, J. C. (2023). "Preservation fluids of heritage anatomical specimens —a challenge for modern science. Studies of the origin, composition and microbiological contamination of old museum collections". *Journal of Anatomy*. <https://doi.org/10.1111/joa.13854>.
- FAHEEM, F. (2019). "Toxic effect of myristica fragrans essential oil against the museum pest *Anthrenus verbasci* (coleoptera: dermestidae) to control biodeterioration of animal collections". *Journal of Bio Innovation*, 8(5): 554–571. <https://doi.org/10.1038/NPROT.2008.92>.
- FUKUDA, S., NISHIKAWA, J., KOBAYASHI, Y., OKABE, Y., FUJII, T., KUBOTA, N., OTSUYAMA, K-I., TSUNEOKA, H., HASHIMOTO, S., SUEHIRO, Y., YAMASAKI, T., & TAKAMI, T. (2022). "The bactericidal effect of far-UVC on ESBL-producing *Escherichia coli*". *American Journal of Infection Control*, 50(11): 1268–1270. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2022.04.012>.
- GÓRNY, R. L., GOLOFIT-SZYMCZAK, M., PALAK, A., LAWNICKEK-WALCZYK, A., CYPROWSKI, M., STOBNIKA, A., PLOCINSKA, M., & KOWALSKA, J. (2024). "Effectiveness of UV-C radiation in inactivation of microorganisms on materials with different surface structures". *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 31(2): 287–293. <https://doi.org/10.2644/aaem/189695>.
- HILTON, E., WATKINS-COLWELL, G., HUBER, S. (2021). "The Expanding Role of Natural History Collections". *Ichthyology and Herpetology*, 109(2): 379–391. <https://doi.org/10.1643/t2020018>.
- IENES-LIMA, J., PRICHULA, J., ABADIE, M. (2023). "First Report of Culturable Skin Bacteria in *Melanophryniscus admirabilis* (Admirable Redbelly Toad)". *Microb Ecol* 86: 756–761. <https://doi.org/10.1007/s00248-022-02069-7>.
- KAKAKHEL, M.A., WU, F., GU, J. D., FENG, H., SHAH, K., & WANG, W. (2019). "Controlling biodeterioration of cultural heritage objects with biocides: A review." In *International Biodeterioration and Biodegradation*, 143. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.104721>.
- KAMPF, G. (2018). "Ethanol. In Antiseptic Stewardship". *Springer International Publishing*. MDPI. 9-35. <https://doi.org/10.3390/books978-3-7258-2915-6>.
- KATARA, G., HEMVANI, N., CHITNIS, S., CHITNIS, V., & CHITNIS, D. S. (2008). Surface disinfection by exposure to germicidal UV light. *Indian Journal of Medical Microbiology*, 26(3): 241–242. <https://doi.org/10.4103/0255-0857.42034>.
- KONRAT, K., SCHWEBKE, I., LAUE, M., DITTMANN, C., LEVIN, K., ET AL. (2016). "The Bead Assay for Biofilms: A Quick, Easy and Robust Method for Testing Disinfectants". *PLOS ONE* 11(6): e0157663. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157663>.
- LATORRE, J.D., HERNANDEZ-VELASCO, X., WOLFENDEN, R. E., VICENTE, J.L., WOLFENDEN, A. D., MENCONI, A., BIELKE, L., HARGIS, B.M., & TLLEZ, G. (2016). "Evaluation and selection of *Bacillus* species based on enzyme production, antimicrobial activity, and biofilm synthesis as direct-fed microbial candidates for poultry". *Frontiers in Veterinary Science*. <https://doi.org/10.3389/fvets.2016.00095>.

- LINNIE, M. J. (2000). "Prevention of biodeterioration in natural history collections: Potential trends and future developments". In *Museum Management and Curatorship*. Taylor & Francis. 18(3): 295–300. <https://doi.org/10.1080/09647770000501803>
- MEINEKE, E., DAVIES, T., DARU, B., DABIS, C. (2019). "Biological collections for understanding biodiversity in the Anthropocene". In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0386>
- MOHAPATRA, S., YUTAO, L., GOH, S. G., NG, C., LUHUA, Y., TRAN, N. H., & GIN, K. Y. H. (2023). Quaternary ammonium compounds of emerging concern: Classification, occurrence, fate, toxicity and antimicrobial resistance". *Journal of Hazardous Materials*, 3-10. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130393>.
- MUÑOZ, MORENO, G., & VERRI. (2011). "Estandarización de un protocolo de caracterización molecular para la identificación de especie de cepas terrestres de bacterias del género *Brucella*". *Revista Sapuvel de Salud Pública*. <https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/us/article/view/5086>.
- NARITA, K., ASANO, K., NAITO, K., OHASHI, H., SASAKI, M., MORIMOTO, Y., IGIRAH, T., & NAKANE, A. (2020). "Ultraviolet C light with wavelength of 222nm inactivates a wide spectrum of microbial pathogens". *Journal of Hospital Infection*. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.03.030>.
- NEISSKENWIRTH, F., & TROXLER, M. (2021). Biocides and other harmful substances on dry and fluid preserved specimens, 63-72. <https://doi.org/10.11588/arthistoricum.1179.c16172>
- NEGI, A., & SARETHY, I. P. (2019). "Microbial Biodeterioration of Cultural Heritage: Events, Colonization, and Analyses". *Microbial Ecology*, 78(4): 1014–1029. <https://doi.org/10.1007/s00248-019-01366-y>
- NGUYET, A., FURUTANI, N., ANDER, R., IZAWA, S. (2022). "Acquired resistance to severe ethanol stress-induced inhibition of proteasomal proteolysis in *Saccharomyces cerevisiae*". *Biochimica et Biophysica Acta*. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2022.130241>
- NING, P., HAN, Y., LIU, Y., LIU, S., SUN, Z., WANG, X., WANG, B., GAO, F., WANG, Y., WANG, Y., GAO, X., CHEN, G., & LI, X. (2023). "Study on disinfection effect of a 222nm UVC excimer lamp on object surface". *AMB Express*. <https://doi.org/10.1186/s13568-023-01611-1>
- NISHIGORI, C., YAMANO, N., KUNISADA, M., NISHIAKI-SAWADA, A., OHASHI, H., & IGARASHI, T. (2023). "Biological Impact of Shorter Wavelength Ultraviolet Radiation-C". In *Photochemistry and Photobiology* 99(2): 335–343. <https://doi.org/10.1111/php.13742>
- PIOUS, T. (2011). "Long-Term Survival of *Bacillus* Spores in Alcohol and Identification of 90% Ethanol as Relatively More Spori/Bactericidal". *Current Microbiology*. <https://doi.org/10.1007/s00284-011-0040-0>
- PROENÇA, D. N., FASOLA, E., LOPES, I., MORAIS, P. V. (2021). "Characterization of the Skin Cultivable Microbiota Composition of the Frog *Pelophylax perezi* Inhabiting Different Environments". *Int J Environ Res Public Health*. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052585>
- SABLIER, M., DAVRON, C., & HERBIN, M. (2020). "Characterization of the JAR Sealants in the Fluid Collections of the Muséum National D'histoire Naturelle". *Collection Forum*, 34(1): 87–100. <https://doi.org/10.14351/0831-4985-34.1.87>
- SAWYER, S. F. (2009). "Analysis of Variance: The Fundamental Concepts". *Journal of Manual & Manipulative Therapy*, 17(2): 27E-38E. <https://doi.org/10.1179/jmt.2009.17.2.27E>.
- SIMMONS, J. E., & MUÑOZ-SABA, YANETH. (2005). "Cuidado, manejo y conservación de las colecciones biológicas". *Universidad Nacional de Colombia: Conservación Internacional*. https://www.researchgate.net/publication/266249611_Cuidado_Manejo_y_Conservacion_de_las_Colecciones_Biologicas
- SIMMONS, J.E. (2014). "Fluid Preservation: A Comprehensive Reference". *Environmental Science*. <https://doi.org/10.5771/9781442229662>
- TAVARES, R. S. N. ADAMOSKI, D., GIRASOLE, A., LIMA, E. N., DA SILVA JUSTO-JUNIOR, A., DOMINGUES, R., SILVEIRA, A.C.C., MARQUES, R. E., DE CARVALHO, M., AMROSIO, A. L. B., LEME, A. F. P., & DIAS, S.M.G. (2023). "Different biological effects of exposure to far-UVC (222nm) and near-UVC (254nm) irradiation". *Journal of Photochemistry and Photobiology*. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2023.112713>.
- TRUJILLO, E., TRIVIÑO, P., SALAZAR, L. (2014). "Clasificación, manejo y conservación de colecciones biológicas: una mirada a su importancia para la biodiversidad". *Momentos de Ciencia*, 11(2) ,97–106. https://www.researchgate.net/publication/305682393_Clasificacion_manejo_y_conservacion_de_colecciones_biologicas_una_mirada_a_su_importancia_para_la_biodiversidad
- WEN, J., ICKERT-BOND, S. M., APPELHANS, M. S., DORR, L. J., & FUNK, V. A. (2015). "Collections-based systematics: Opportunities and outlook for 2050". *Journal of Systematics and Evolution*, 53(6): 477–488. <https://doi.org/10.1111/jse.12181>
- WEIHS, P., SCHMALWIESER, A. W., & SCHAUBERGER, G. (2012). "UV Effects on Living Organisms". *Environmental Toxicology*, 609–688. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5764-0_22
- XIE, R., TSE, G. Y. K., MAN, L. C. L., CHEUNG, A. L. H., WONG, D. T. C., LAM, E. H. M., HUANG, H., & LEUNG, D. Y. C. (2022). "Systematical Investigations on Disinfection Effectiveness of Far-UVC (222 nm) irradiation: From Laboratory Study to Field Tests". *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 10(1): 17–34. <https://pubs.sciepub.com/jaem/10/1/3>
- YAMANO, N., KUNISADA, M., KAIIDZU, S., SUGIHARA, K., NISHIAKI-SAWADA, A., OHASHI, H., YOSHIOKA, A., IGARASHI, T., OHIRA, A., TANITO, M., & NISHIGORI, C. (2020). "Long-term Effects of 222nm ultraviolet radiation C Sterilizing Lamps on Mice Susceptible to Ultraviolet Radiation". *Photochemistry and Photobiology*, 96(4): 853–862. <https://doi.org/10.1111/php.13269>
- YEATES, D., ZWICK, A., MIKHEYEV, A. (2016). "Museums are biobanks: unlocking the genetic potential of the three billion specimens in the world's biological collections". *Insect Science*, 18: 83–88. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2016.09.009>

Autor/es**Maria Alejandra Gonzalez Torres**malejagon14@hotmail.com

Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas

Universidad Militar Nueva Granada

Cajicá, Colombia

<https://orcid.org/0009-0009-2109-1486>

Bióloga de la Universidad Militar Nueva Granada, con experiencia en microbiología, conservación de colecciones científicas y análisis estadístico de datos biológicos. Ha participado en investigaciones sobre el uso de luz ultravioleta para la desinfección de especímenes biológicos, así como en el estudio de pigmentos bacterianos con propiedades antimicrobianas. Interesada en la aplicación de herramientas microbiológicas para la conservación del patrimonio biológico. Se distingue por su responsabilidad, pensamiento crítico y capacidad para trabajar en equipo.

**Nelsy Rocio Pinto Sánchez**Nelsy.pinto@unimilitar.edu.com

Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas

Universidad Militar Nueva Granada

Cajicá, Colombia

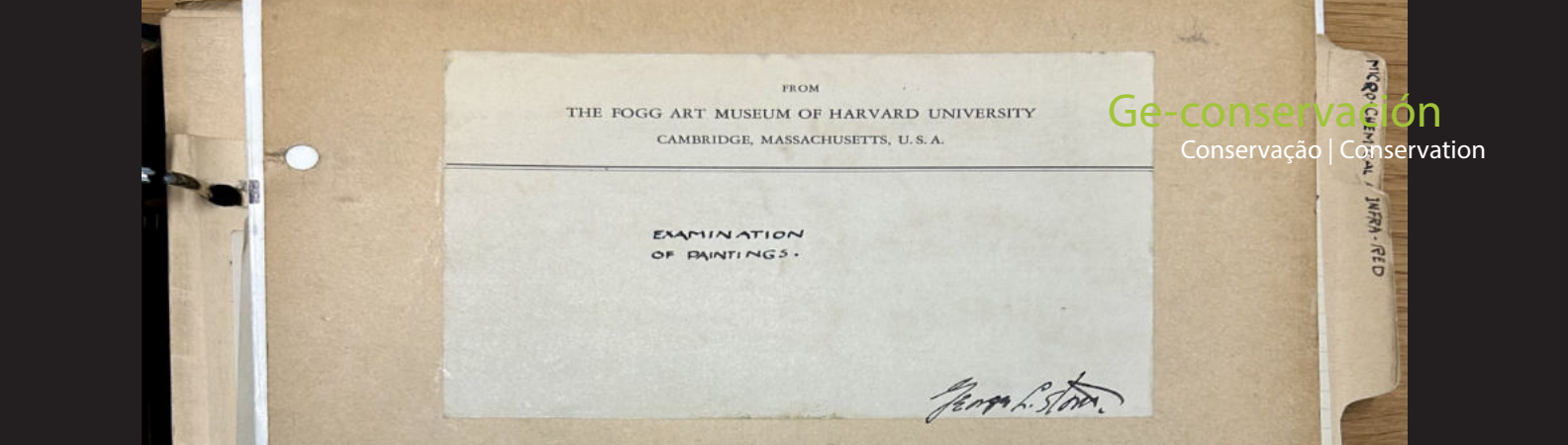
<https://orcid.org/0000-0001-7561-2982>

Bióloga, docente con especial interés en procesos de diversificación en la región Neotropical. Curadora de la colección zoológica "José Ricardo Cure Hakim" de la Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá, Colombia. Interesada en el mantenimiento de las colecciones zoológicas.

Artículo enviado 14/05/2025
Artículo aceptado el 09/10/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1404>



Conservación crítica: trayectorias del pensamiento contemporáneo desde el *Fogg Art Museum's Department for Technical Studies in the Field of Fine Arts* de la Universidad de Harvard (1928)

Ana Galán-Pérez

Resumen: Pensar la conservación implica reconocerla como un espacio de negociación entre arte, ciencia y ética social y profesional. Este artículo examina ese punto de encuentro a través del *Fogg Art Museum's Department for Technical Studies in the Field of Fine Arts*, fundado en 1928 en la Universidad de Harvard, que aquí se propone como espacio clave en la configuración del pensamiento contemporáneo en conservación. A partir del estudio de sus prácticas y de la labor de Charles Eliot Norton, Edward W. Forbes y George L. Stout, se analizan los dilemas entre objetividad científica, sensibilidad estética y la construcción de una ética profesional que definió en gran medida la práctica conservadora en Estados Unidos, tendiendo puentes transoceánicos con Europa. La creación de la revista *Technical Studies in the Field of Fine Arts* (1932–1942) amplió dicho diálogo, confluyendo la herencia de John Ruskin, y los nuevos métodos científicos experimentales. Desde una perspectiva crítica, el artículo propone una lectura de la institución como un laboratorio de pensamiento donde se abordaron los principios de autenticidad, reversibilidad, mínima intervención y discernibilidad junto con los valores culturales de las obras. Esta revisión invita a considerar la conservación como un campo de transformación permanente.

Palabras clave: conservación-restauración, conservación crítica, Museo Fogg de Arte, Universidad de Harvard, principios de conservación, autenticidad

Critical Conservation: trajectories of contemporary thought from the Fogg Art Museum's Department for Technical Studies in the Field of Fine Arts at Harvard University (1928)

Abstract: Thinking about conservation involves recognizing it as a space of negotiation between art, science, and social and professional ethics. This article examines that point of convergence through the *Fogg Art Museum's Department for Technical Studies in the Field of Fine Arts*, founded in 1928 at Harvard University, proposed here as a key space in shaping contemporary thought in conservation. By studying its practices and the work of Charles Eliot Norton, Edward W. Forbes, and George L. Stout, the article analyses the dilemmas between scientific objectivity, aesthetic sensitivity, and the construction of a professional ethics that largely defined conservation practice in the United States, while establishing transatlantic bridges with Europe. The creation of the journal *Technical Studies in the Field of Fine Arts* (1932–1942) expanded this dialogue, merging the legacy of John Ruskin with new experimental scientific methods. From a critical perspective, the article proposes an interpretation of the institution as a laboratory of thought where the principles of authenticity, reversibility, minimal intervention, and discernibility were addressed, together with the cultural values of artworks. This reassessment invites us to consider conservation as a field of ongoing transformation.

Keywords: conservation–restoration, critical conservation, Fogg Art Museum, Harvard University, conservation principles, authenticity

Conservação crítica: trajetórias do pensamento contemporâneo desde o Fogg Art Museum's Department for Technical Studies in the Field of Fine Arts da Universidade de Harvard (1928)

Resumo: Pensar a conservação implica reconhecê-la como um espaço de negociação entre a arte, a ciência e a ética social e profissional. Este artigo examina esse ponto de encontro através do *Fogg Art Museum's Department for Technical Studies in the Field of Fine Arts*, fundado em 1928 na Universidade de Harvard, aqui proposto como um espaço-chave na configuração do pensamento contemporâneo em conservação. A partir do estudo das suas práticas e do trabalho de Charles Eliot Norton, Edward W. Forbes e George L. Stout, analisam-se os dilemas entre objetividade científica, sensibilidade estética e a construção de uma ética profissional que, em grande medida, definiu a prática da conservação nos Estados Unidos, estabelecendo pontes transatlânticas com a Europa. A criação da revista *Technical Studies in the Field of Fine Arts* (1932–1942) ampliou esse diálogo, unindo a herança de John Ruskin aos novos métodos científicos experimentais.

Numa perspectiva crítica, o artigo propõe uma leitura da instituição como um verdadeiro laboratório de pensamento, onde foram abordados princípios como a autenticidade, a reversibilidade, a mínima intervenção e a discernibilidade, em articulação com os valores culturais das obras. Esta revisão convida a considerar a conservação como um campo de transformação permanente.

Palavras-chave: conservação e restauro, conservação crítica, Museu de Arte Fogg, Universidade de Harvard, princípios da conservação, autenticidade

Introducción

La conservación del patrimonio artístico ha atravesado profundas transformaciones a lo largo del último siglo, pasando de ser un campo científico técnico centrado en la estabilidad material de los objetos a una práctica cada vez más consciente de su dimensión ética y contextual (histórica, social y política) (Li & Tang 2023)^[1]. En este proceso, ha emergido con fuerza el enfoque de la conservación crítica como natural desarrollo de la aplicación del pensamiento crítico, en el que el primero resulta de la aplicación del segundo, y cuestiona los supuestos enfoques tradicionales de la profesión (Hatchfield 2013; Belishki & Corr 2019; Corr 2021). Así, propone una mirada más amplia, capaz de considerar no solo lo que se conserva sino también cómo, por qué y para quién se conserva. Este giro se ha articulado progresivamente en el ámbito académico y museológico, especialmente en Europa y Estados Unidos y ha abierto el campo a nuevos interrogantes sobre el papel de los museos, las relaciones de poder en la construcción del patrimonio, así como la necesidad de revisar los marcos interpretativos que han guiado las intervenciones de conservación durante décadas.



Figura 1.- Fotografía de George L. Stout. Museo Isabella Stewart Gardner.

El Museo Fogg de la Universidad de Harvard, fundado en 1895, ofrece un caso paradigmático: a comienzos del siglo XX desempeñó un papel pionero en la profesionalización de la conservación y los estudios curatoriales en Estados Unidos. Con la creación en 1928 del *Center for Technical Studies* dirigido por George L. Stout, se consolidó un modelo que articulaba la ciencia de los materiales, la historia del arte y la práctica museal, sentando las bases de la conservación moderna. [Figura 1] [Figura 2].

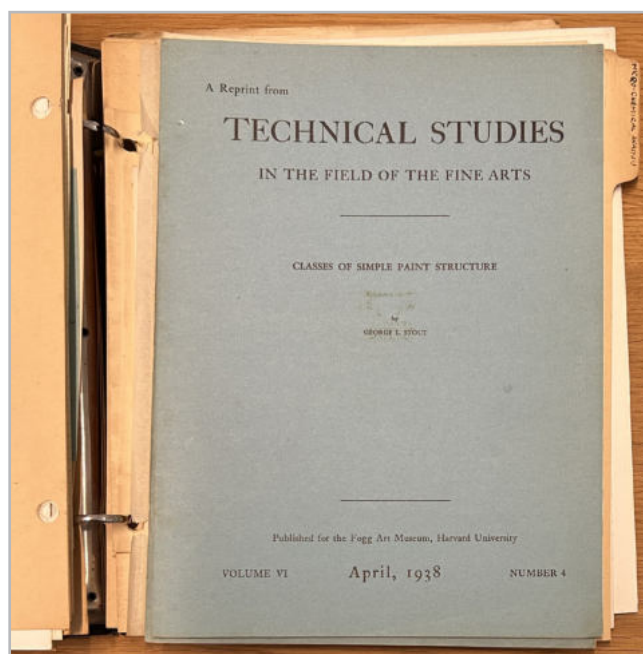


Figura 2.- Portada *Technical Studies in the Field of Fine Arts*, 1938. Archivo. Oficina del Director. Documentos de George Stout, 1924-1993. Museo Isabella Stewart Gardner.

El presente trabajo, basado en la investigación de archivo y los estudios de Francesca G. Bewer (1998, 2010, 2013, 2022, 2023), examina el papel del Museo Fogg en la configuración temprana de un pensamiento crítico en conservación y su estrecha conexión con Europa. Se reflexiona sobre cómo este modelo anticipó los debates contemporáneos sobre autenticidad, ética y la dimensión social de la disciplina. (van Saaze 2013).

Conceptualización del pensamiento crítico humanista

El pensamiento crítico, aplicado a la conservación, es un proceso cognitivo y analítico estrechamente vinculado con la ética y deontología profesional. Implica integrar ética (ethos), la lógica (logos) y la percepción (pathos)

para fundamentar decisiones informadas basadas en el conocimiento técnico, la capacitación y la experiencia (Hatchfield 2013). Este enfoque resulta esencial para abordar los dilemas complejos en los que no existen soluciones neutras, pues se exige examinar las motivaciones personales o institucionales y valorar las consecuencias materiales y simbólicas de toda intervención incluida la alteración o cambio de su estado que supone cualquier tratamiento (en términos positivos o negativos) ^[2] (Hölling 2016; Muñoz-Viñas 2013:111).

Desde esta perspectiva, la conservación se concibe como una interpretación crítica de carácter humanista, centrada en la acción profesional y su contexto social. (Rivenc 2022; Caple, Williams 2023 y cuestiona la pretendida objetividad de la práctica, reconociendo que toda intervención está impregnada de valores culturales, sociales y políticos. Su finalidad, por tanto, no es solo preservar los bienes, sino también reflexionar por qué y para quién se conservan, incorporando múltiples voces y perspectivas, incluidas las comunidades de origen y promoviendo la transparencia profesional. Este enfoque sitúa al conservador como agente reflexivo que comunica y documenta los procesos, haciendo visible la dimensión ética de cada decisión (Schädler-Saub 2019).

Lejos de ser una teoría abstracta, su enfoque tiene implicaciones directas en la práctica profesional. Al fomentar la reflexión y la inclusión de múltiples perspectivas, impulsa una acción más ética y socialmente responsable. Por otro lado, mediante el enfoque crítico, tanto las acciones preventivas, de estabilización estructural propia de la conservación curativa, y las intervenciones restauradoras para devolver la legibilidad a la obra, se promueve un análisis profundo de todos los supuestos subyacentes y las posibles consecuencias de cada acción. En vez de seguir diagnósticos y tratamientos de manera rutinaria o tradicional basados en principios incuestionables, exige una reflexión sobre el contexto histórico, cultural, social y ético de cada bien y de su intervención (Markevicius, Olsson 2023, Wharton 2005).

Bajo el enfoque crítico que pone en cuestión los fundamentos preestablecidos, la ética es la guía filosófica que define el *por qué conservar*, que define los principios y *dirigen el cómo conservar* (Appelbaum 2013). Este camino conduce a la praxis y al método, es decir, *qué hacemos realmente*, relacionando así el marco conceptual con la acción conservadora basada en decisiones concretas responsables. Este enfoque revisa los conceptos clave, a menudo ambiguos (autenticidad, mínima intervención, reversibilidad y retratabilidad, etc.), de una manera menos dogmática y más reflexiva. Desde la naturaleza cambiante de los objetos, pasando por la cuestión de los valores intangibles y la subjetividad del concepto de autenticidad (Taylor&Marçal 2022; Auffret 2019:17). Dicha aproximación reconoce la dificultad y la subjetividad inherente a los principios, priorizando una comprensión del bien en su contexto y una conducción ética en el juicio crítico que

determina los criterios propuestos para la intervención. Integrada en este marco conceptual, la práctica, el terreno donde la acción tiene lugar, es un campo de ejercicio sujeto a la concreción del tiempo presente, y por tanto variable como lo es la evolución cultural y el valor del bien, siendo cada intervención una interpretación en diálogo con su tiempo (Pastor&Díaz-Andreu, 2022; Muñoz Viñas 2014)

El poder en la conservación es otra cuestión relevante, pues se analiza la autoridad y las voces unilaterales en la toma de decisiones, quién decide qué conservar (o no conservar), cómo y por qué, reconociendo sesgos históricos y disciplinares de la conservación, como el eurocentrismo y el colonialismo y promoviendo la inclusión de otras voces en el proceso, entendiendo que la conservación de los bienes debe estar más relacionada con comunidad y la función simbólica o viva del objeto. Bajo el paradigma de que no hay una única manera correcta de conservar, toda elección revela algo y oculta a su vez otra cosa y por ello también se exploran enfoques “disruptivos” que cuestionan las normas establecidas y exploran nuevas metodologías centradas en la interpretación y la comunicación del bien (especialmente en las intervenciones de Arte Contemporáneo) (Sweetnam, Henderson 2022).

La conservación crítica se comprende como un acto de interpretación y comunicación, en el que el ejercicio personal o grupal de la toma de decisiones supone escribir la historia de los objetos y por ello se tiende a promover la integración de todas las voces implicadas. A su vez, el valor social y cultural atribuido a los bienes es dinámico, está abierto a la interpretación social y cambia con el tiempo, por lo que el rol de la sociedad y su estudio es clave para comprender este enfoque (Jones, 2017; Marinelli 2014:11). La conservación, comprendida como la gestión del cambio (deterioro y actuación), puede influir en la dirección y la velocidad de ese cambio, seleccionando qué aspectos de la obra se consideran más importantes para mantener en la sociedad presente y futura. Cabe mencionar que la agencia de la conservación recae en las personas e instituciones que deciden qué, cómo y por qué conservar, más que en la disciplina en sí misma, lo que implica reflexionar sobre las dinámicas de poder y participación en los procesos de preservación (Hölling, Bewer, Ammann, 2019; Ashley-Smith 2018).

El enfoque de la conservación crítica en los Museos de Harvard. El intercambio transoceánico.

— La base de Arte y Ciencia en la Universidad de Harvard

La Universidad de Harvard, fundamentada en el humanismo liberal, ha defendido desde su origen el arte y ciencia en la enseñanza y la investigación ^[3]. El concepto de liberal arts como base para todos los estudios y disciplinas, ha motivado un pensamiento humanista y la base de una formación intelectual. Este hecho ha facilitado la conexión entre la valoración crítica del arte, la historia, la ética y la sociedad como eje del conocimiento con el énfasis en la

investigación, cuestionando las narrativas establecidas y promoviendo el desarrollo de instituciones como el Museo de Arte Fogg^[4].

En 1874 Charles Eliot Norton, que compartía la visión humanística con John Ruskin (profesor en la Universidad de Oxford) y con quien mantuvo una amistad intelectual trasatlántica, promovió en Harvard los primeros estudios en Historia del Arte de Estados Unidos. El arte era considerado como una encarnación de la belleza y la verdad, y considerada una poderosa herramienta para la mejora de la moralidad (Bewer 2010). El arte debía estar al servicio de la sociedad y su estudio formar parte central de la educación humanista de la universidad^[5].

— El Museo Fogg de Arte como Laboratorio de Arte

En 1896, Elisabeth Perkins Fogg, en memoria de su esposo William Hayes Fogg, donará fondos para la construcción y puesta en funcionamiento de un museo universitario, así como su colección personal, iniciando toda una serie de acciones filantrópicas que irán dando forma al Museo Fogg de Harvard. La semilla filosófica y humanista de Charles Elliot Norton favoreció que se fundara el primer museo universitario con un propósito pionero: constituirse como un laboratorio académico de experimentación, una extensión del aula donde los estudiantes de arte pudieran estudiar obras originales en relación directa con la docencia. Este enfoque de estudio desde la observación y la experiencia directa procedía del entorno de las ciencias duras y suponía en sí mismo una innovación didáctica relevante al aplicarse en las humanidades. Por otro lado, experiencias llevadas a cabo en el Museo Social dirigido por Francis Greenwood Peabody sostenía similitudes basadas de la idea de cuaderno de campo naturalista para el estudio y análisis de las colecciones históricas y antropológicas (Harvard Art Museums, The Social Museum Collection)

Desde sus orígenes, el Museo Fogg nació con una función pedagógica que su segundo director, Edward W. Forbes consolidará en el periodo entre 1909-1944 [Figura 3]. Estrechamente vinculado con la enseñanza de la Historia del Arte y además de la comprensión experta e iconográfica de las obras, Forbes, que viaja, observa y estudia las obras en su contexto original, muestra un interés empírico en el conocimiento de la materia y la técnica, influenciado por la noción de "Kunstwissenschaft" o "ciencia del arte" con base en procedimientos de la medicina y la criminología^[6]. Por otro lado, Forbes descubre que para el estudio del arte hay múltiples puntos de vista, tantos como actores: el artista, el historiador del arte, el estudioso de métodos técnicos, el marchante y el crítico de arte (Bewer 2010).

Se crea así un museo como laboratorio en el que los estudiantes aprenden a observar las obras sin intermediarios, y a experimentar con la materia física, siguiendo a su amigo, el crítico británico John Ruskin, que defendía, por un lado, que solo el trabajo auténtico de la mano del artista tenía el

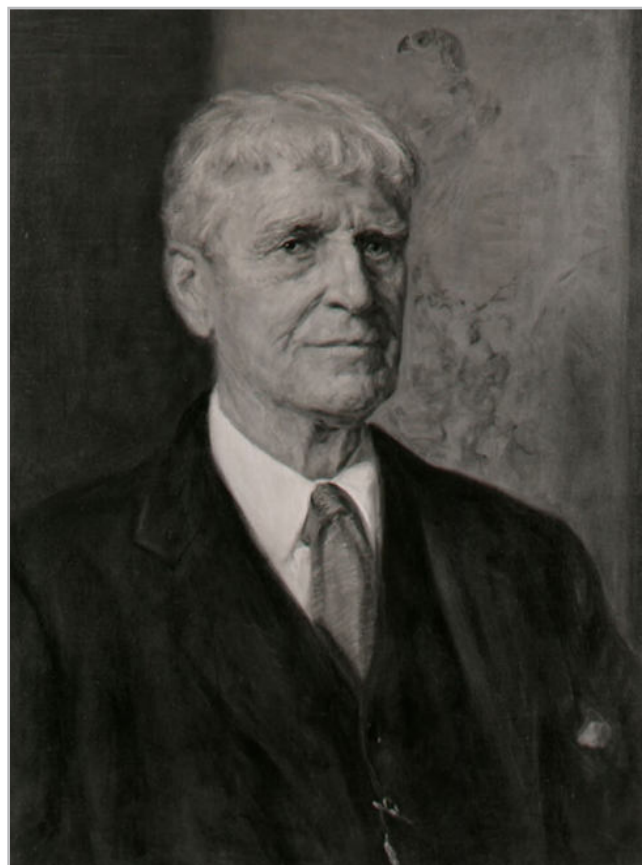


Figura 3.- Edward Waldo Forbes (1873-1969). Harvard University Portrait Collection, Gift of Mr. Pezzati, 1980. <https://hvrd.art/o/305021>

poder de efectuar una transformación emocional o espiritual, y por otra parte, que la práctica del arte podría mejorar la capacidad crítica del estudiante (Cohn 2024; Harvard Art Museums 2025). Según Weber (2002), este enfoque produjo un tipo de estudiante capaz de interpretar la obra de arte desde la práctica y el análisis científico (por ejemplo, mediante el conocimiento de las técnicas y los pigmentos) dotando a la disciplina de una base empírica inédita hasta entonces.

— La evolución del enfoque crítico de la conservación

- *La reflexión sobre las obras restauradas en el siglo XIX y el camino hacia la ciencia experimental aplicada en el arte*

La conservación de las colecciones artísticas de los museos en Estados Unidos evolucionó en el tránsito del siglo XIX al siglo XX gracias a figuras como Norton y Forbes, fundando el Fogg Art Museum's Department for Technical Studies in the Field of Fine Arts en la ciudad de Boston en 1928 y por su dirección por George L. Stout. En este momento, las filosofías decimonónicas son cuestionadas, y la estrategia se centra en el conocimiento profundo de los valores materiales, el significado de las obras artísticas y las causas de su deterioro. Este interés, así como de cuestionar cómo se habían llevado a cabo hasta el momento las reintegraciones en obra pictórica, motivó un cambio de actitud reflexiva y crítica también refrendadas por la solución de compromiso que

proponía Camilo Boito (1836-1914) respecto a las principales tendencias del XIX, al respetar la integridad de los materiales y transmitir la unidad estética original (Arnal 2017).

Profundamente preocupado por la autenticidad de las obras que adquiriría en Europa, especialmente de los pintores italianos de los siglos XIII y XIV ^[7] y con el interés de detectar drásticas intervenciones efectuadas en el siglo XIX, Forbes se preocupará por la conservación de las colecciones que paulatinamente iba adquiriendo en sus viajes a Italia, observando detenidamente el cambio material de las obras e identificando los deterioros (Forbes, Dudley 1913; Interrante 2019; Bewer 2019). Incluso su motivación por aprender y comunicar los misterios de la técnica condujo su política de adquisiciones más allá de su sensibilidad estética, comprando obras con deterioros, profundamente intervenidas e incluso falsificaciones para provocar debates entre los estudiantes (Bewer 2010).

Forbes descubre así que la mirada experta no era suficiente para profundizar en estos aspectos y comienza la relación arte y ciencia, en la que también insta a los artistas contemporáneos a utilizar materiales duraderos en sus obras. Durante su periodo como director del Museo Fogg, Forbes recolectó materiales de pintura, como resinas, aceites y su colección de pigmentos históricos ^[8] siguiendo el manual de Cenino Cennini (1437) estableciendo así una de las primeras iniciativas de conservación científica en Estados Unidos (Shea 2014; Bewer 2022; Duncan 2002).

La necesaria ciencia experimental aplicada aparecerá en escena gracias a los científicos Rutherford J. Gettens y Alan Burroughs (Stoner 2015; Bewer 1998). A través del análisis de pigmentos y la microscopía, o la radiografía para examinar las obras de arte, se podía distinguir los materiales originales de las alteraciones posteriores incluyendo repintes modernos y posibles falsificaciones. El especialista Alan Burroughs, por ejemplo, utilizó la radiografía para identificar diferencias entre artistas de un mismo círculo y para detectar paneles dañados que habían sido utilizados para dar una apariencia antigua a pinturas modernas. Los rayos X podían revelar capas subyacentes, cambios hechos por el artista (pentimenti) o alteraciones posteriores, ofreciendo una evidencia técnica para la autenticación y el debate sobre las atribuciones. Así, dará comienzo a una nueva etapa en la profesionalización de la conservación de arte en estrecha relación con la filosofía humanista de la Universidad de Harvard, en la que se integra, marcando un hito la participación del equipo Fogg en la Conferencia de Roma de 1930 organizada por el *International Museums Office of the League of Nations*, donde se debatirá a nivel internacional los retos y avances de la disciplina, así como elevar los estándares, recopilar y compartir datos más confiables y mejorar la educación de los restauradores (Clavir 1998; Bewer 2010). El encuentro, analizado por Cardinali (2022), sentó las bases de cooperación internacional que culminaría en la Carta de Atenas (1931) (Dragoni, 2024). Sin embargo, la recepción de estas propuestas fue desigual: en Italia, la autoridad de los historiadores del arte frenó el impulso de la experimentación analítica, mientras que en Estados

Unidos se articuló una práctica interdisciplinar que vinculaba arte y ciencia, consolidando un modelo experimental que transformó la conservación en disciplina académica. Por otro lado, la permeabilidad conceptual de los equipos de los dos continentes motivó el intercambio y la cooperación a lo largo de todo el siglo XX (Carta de Atenas 1931) (Bewer, 2022; Freitag, 1975; Plenderleith, 1983; Gettens&Stout, 1933)

• *El fortalecimiento de la conservación preventiva y gestión de riesgos*

Además de las reflexiones sobre las intervenciones decimonónicas, la identificación del riesgo y la necesidad de la prevención ante la pérdida entrará en escena. El siglo XX, marcado por dos grandes Guerras Mundiales, consolidará en la evolución histórica de la profesión tanto de Estados Unidos como de Europa. La experiencia europea, como los daños producidos por obras en depósitos con humedad durante la Primera Guerra Mundial y la investigación en la National Gallery de Londres sobre los efectos de la contaminación, la luz y el calor resaltó la importancia del control ambiental para Forbes, quien declaró que “negarse a asumir la responsabilidad de la preservación del patrimonio cultural equivalía a un crimen contra la civilización” (Bewer 2022).

Gracias al trabajo de George L. Stout, en la evacuación y retorno del arte confiscado por los nazis y en la formación de redes profesionales transoceánicas entre Europa y Estados Unidos se consolidará la prevención y la gestión del riesgo, tanto durante como después de la II Guerra Mundial. Tras este periodo de tiempo y la experiencia del *American Defense, Harvard Group* especialmente el *American Commission for the Protection and Salvage of Artistic and Historic Monuments in War Areas* (Comisión Roberts) ^[9], el Museo Fogg proporcionará al mundo del arte futuros directores, conservadores y científicos de los principales museos norteamericanos en la segunda mitad del siglo XX. Por ejemplo, el Museo Isabella Stewart Gardner en Boston tendrá como director a George L. Stout tras su regreso de la misión de rescate en Europa. Por su parte, y con una trayectoria parcialmente interrumpida por los avatares socio políticos y económicos norteamericanos del siglo XX, el *Strauss Center of Conservation* consolidará paulatinamente su papel referencial siendo un modelo en diversos museos e norteamericanas y europeas hoy en día (Bewer 2022).

— *El desarrollo de la profesión de conservación en los Museos de Harvard:*

Con la idea del aprendizaje del arte mediante las colecciones del museo se forjó un laboratorio de experimentación didáctico. Su director, Forbes, creía en la necesidad de educar tanto a los profesionales como al público que visitaba el Museo. Este interés por el conocimiento, la transparencia y la accesibilidad se reflejará en todas sus decisiones, como la de creación de una Biblioteca especializada en 1915 junto con Paul J. Sachs con obras de Giovanni Secco Suardo, Theodor von Frimmel, Charles Eastlake, Luigi Cavenaghi y Arthur

Pillans Laurie entre otros (Bewer 2013; Fogg Art Museum 1965). Con esta filosofía surgieron diversos perfiles en el museo gracias a los *Museum Courses* (estudios curatoriales), a la consideración de la conservación en Harvard como una extensión más del Museo Fogg y el acercamiento a sus las colecciones para la enseñanza de la Historia del Arte, tanto desde la gestión curatorial como desde la conservación-restauración. Para Forbes, el trabajo intelectual debía ir acompañado del entrenamiento de la vista y la mano (Bewer 2010). [Figura 4].

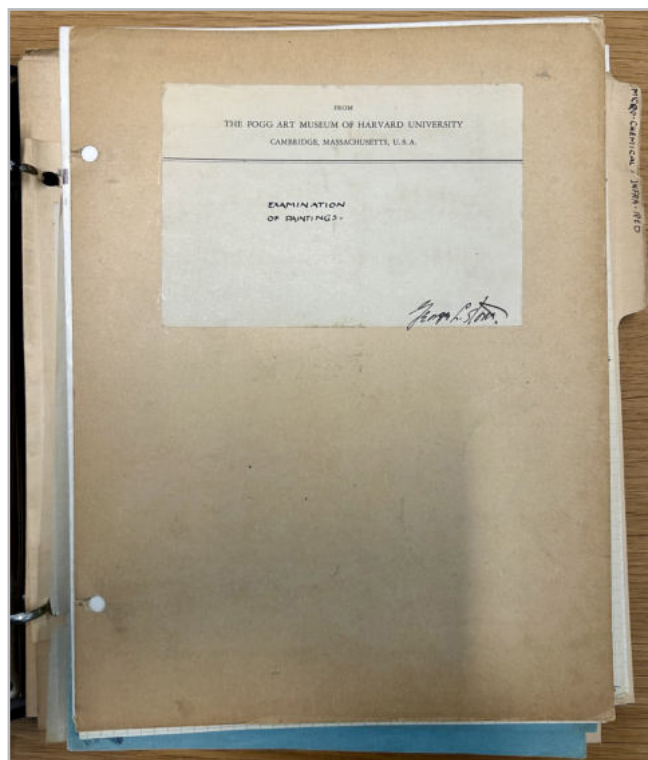


Figura 4.- Fotografía del archivador de George Stout, Oficina del Director. Documentos de George Stout, 1924-1993. Museo Isabella Stewart Gardner.

Si bien en los comienzos del museo las acciones directas en las obras se basaban en la tradición y en las habilidades prácticas pictóricas, las reflexiones previas sobre las piezas adquiridas y resauradas en el XIX y la conciencia paulatina del deterioro de las piezas propició que gracias a figuras como George L. Stout., Richard D. Buck, Evelyn Ehrlich, Minna H. Horwitz, Sheldon Keck, R. Arcadius Lyon, Murray Pease y Daniel V. Thompson, marcaran un camino hacia la conservación basada en la ciencia. El examen técnico informado por hechos verificables complementaba el juicio intuitivo tradicional y se esperaba que los profesionales tuvieran un conocimiento científico bien fundado del estado de las obras de arte y de los efectos a largo plazo de cualquier intervención y aunque no llegó a materializarse un programa específico para conservadores, se incorporaron las mejores prácticas en tutorías y en aprendizaje mediante la colaboración y el intercambio profesional, ofreciendo asesoramiento y realizando

intervenciones para una variedad de instituciones (Aronson, McClure, Passeri 2017). La comunicación era esencial en la filosofía del museo, así como la colaboración entre los diversos perfiles especializados. De hecho, concienciado por la necesidad de proteger el arte de las intervenciones extremas, Forbes propuso la idea de alguna forma de la regulación profesional, de control estatal de la práctica de la conservación de manera similar a la de los médicos, reflejando un debate específico estadounidense en tiempos tempranos del siglo XX en su discurso de la *College Art Asociation* en 1920 (Bewer 2010).

- *International Institute for Conservation, American Institute for conservation*

En 1950 nacerá el *International Institute for Conservation* siendo miembros fundadores y primeros miembros, George L. Stout en calidad de presidente, Rutherford J. Gettens, Richard Buck, W.G. Constable, Murray Pease, Ian Rawlins, Harold Plenderleith, Sir Wallace Akers, Helmut Ruhemann, Paul Coremans, Arthur van Schendel, René Sneyers y Sheldon y Caroline Keck ^[10]. Años después, en el marco de las conferencias del IIC del Grupo Americano, se publicará en el año 1968 el primer código ético de conservación, con el nombre *Murray Pease Report*. En dicho informe también se organizará el futuro *American Institute for Conservation, AIC*, como una escisión del IIC ^[11]. Cabe destacar el espíritu con el que se gestó el AIC, que respondía a una voluntad de renovación y de autonomía respecto a las estructuras europeas, junto con una línea de trabajo más empírica basada en la responsabilidad ética individual, marcando una cierta distancia con las concepciones europeas.

- *Technical Studies in the field of the Fine Arts (1932-1942)*

El Museo Fogg convirtió la práctica de la conservación en una actividad intelectual. No solo en la manera de analizar y preservar las obras, sino por el establecimiento de la profesión como disciplina crítica, aunando el arte, la ciencia y la ética bajo el paraguas humanista de la universidad de Harvard y materializando la transferencia de conocimiento de la investigación en la publicación periódica *Technical Studies in the field of the Fine Arts (1932-1942)* ^[12] para investigar de manera interdisciplinar los materiales artísticos y las técnicas, análisis científicos (Rayos X, espectroscopía, microscopía) técnicas y materiales aplicados para la conservación e informes sobre intervenciones en obras específicas (Freitag 1975; Bewer 2023). Años más tarde, recogerá el testigo la publicación *Studies in Conservation* del IIC en 1956 y *Studies in Conservation, Journal of the American Institute for Conservation* y en 2009 la revista GE-Conservación del Grupo Español del IIC. Con la misma filosofía, el registro sistemático de actividades llevadas a cabo en el Museo propició la creación de un archivo desde su fundación (Bewer 2010).

— *Las colecciones y los debates en torno al concepto de autenticidad y su conservación*

En el contexto previamente descrito, se generó un entorno de debate alrededor de la conservación de obras de arte, cuestionando las situaciones o posibles dilemas que pudieran tener lugar en cada caso, sin dar por hecho, soluciones estandarizadas. El museo debatió principios y procedimientos de conservación desde su origen, teniendo en cuenta que los conceptos se expresan a través de nociones como “truth to materials” o “integrity of the object” derivadas del pensamiento anglosajón y del *Arts and Crafts Movement*. Solo décadas más tarde, especialmente a partir de las formulaciones europeas de Brandi y Philippot, estos términos adquirieron la precisión semántica y deontológica que hoy reconocemos.

• *Autenticidad*

Desde sus inicios a final del siglo XIX y principios del XX, Forbes adquirió en sus viajes obras de arte europeas originales para las colecciones, especialmente del Renacimiento italiano, en lugar de las reproducciones y moldes de yeso que eran comunes en los museos en este momento, facilitando el aprendizaje a través de la experiencia directa con obras de arte reales. La demanda en el coleccionismo de arte había dado lugar a un negocio de falsificaciones, copias o atribuciones erróneas, en ocasiones camufladas por repintes o reemplazando partes faltantes, que impedía observar la obra original del artista. Hasta el momento, el rol del *conocedor* o *experto* en Historia del Arte había sido la autoridad para identificar el estilo de los grandes maestros, que solo podía verificar mediante una observación entrenada (Bewer 2022).

• *El estado original*

El debate estaba servido: bien “devolver el estado original” (reflejando la supuesta intención del artista) o bien preservarla como documento material, es decir, el objeto como como testimonio, lo que implicaba aceptar su deterioro como parte de su vida y significado, algo profundamente ético y revolucionario para la época. Este dilema aparece en las tensiones entre los diferentes enfoques de conservación como la restauración “no engañosa” adoptada tempranamente en el Museo Fogg, que pretendía subsanar las pérdidas sin intentar imitaciones perfectas. Las decisiones sobre “un exceso de limpieza”, una reconstrucción estética insuficiente” o una “mano restauradora demasiado dominante” reflejan esta tensión central. Bajo este enfoque ético e histórico en la toma de decisiones, la institución rechazó las restauraciones que podían falsear la historia de una obra, defendiendo el valor del deterioro, el respeto a la obra y el alcance reversible de las intervenciones, de la misma manera que planteaba la no intervención cuando no se garantizara la calidad o la necesidad real para hacerlo [Figura 5]. Este enfoque del Fogg anticipó la noción de restauración como acto crítico formulada por Brandi (1963) y enmarcar las futuras discusiones éticas internacionales que cristalizaron en la Carta de Venecia (1964) y en los primeros códigos profesionales.



Figura 5.- Retrato de Santo Domingo, Autor desconocido (circa 1260). Harvard Art Museums/Fogg Museum, Hervey E. Wetzel Bequest Fund. <https://hvrd.art/o/232018>

• *Objetividad y subjetividad. Transparencia*

El debate sobre la sensibilidad estética frente al conocimiento científico en la conservación estaba ejemplificado con la tensión entre Roger A. Lyon y George L. Stout. Ambos estaban posicionados en dos tendencias diferenciadas. Mientras el primero afirmaba que la sensibilidad hacia la obra de arte y las “buenas manos” eran tan vitales como la química, el segundo criticaba la falta de educación química formal de Lyon. En cualquier caso, la base científica de la conservación informaba las decisiones de los tratamientos y un registro para futuras referencias. Tanto en los primeros años del Museo Fogg de la mano de Forbes, como en años posteriores con George L. Stout se enfatizó en la necesidad de transparencia de las intervenciones mediante una documentación rigurosa. En las primeras décadas del siglo XX, era palpable la tradición heredada de “secreto profesional”, creando un intenso debate entre la ausencia de comunicación de técnicos como Durham frente a la comunicación abierta y ética de compartir los

descubrimientos que defendía George L. Stout y que él mismo llevaría a la práctica con la publicación de los *Technical Studies*.

• Limpiezas y reintegraciones

En 1924, de manera temprana y sin las herramientas técnicas, las decisiones para visibilizar la obra original y disipar dudas de autoría, propició limpiezas extremas. Por ejemplo, en el caso del tratamiento de la Crucifixión de Botticelli, Forbes había adquirido en Alemania una pintura que había sido extensamente *"Hausserizada"* (restaurada de forma invasiva por Alois Hausser, restaurador del museo alemán Kaiser-Friedrich). Considerándola "un documento histórico interesante" decidió que se eliminaran todas las restauraciones anteriores para revelar solo el material original para disipar las dudas sobre la autoría y para documentar su apariencia, y encargó una copia pintada antes de proceder a la limpieza. Tras un proceso que abrió diversos debates entre Fogg, Sachs y el conservador Harry Augustus Hammond Smith, el resultado final dejó al descubierto pérdidas significativas y exponiendo el lienzo. Tras esta actuación, Forbes señaló *"una limpieza juiciosa ha resaltado la belleza prístina del color y la nerviosa habilidad del artista (Botticelli) para dibujar"*. La superficie fragmentada resultante sigue motivando debates sobre la exposición radical de la capa pictórica original [Figura 6].



Figura 6.- Crucifixión mística Sandro Botticelli (Alessandro Filipepi), italiano (Florencia, Italia 1444/45 - 1510 Florencia, Italia) Harvard Art Museums/Fogg Museum, Friends of the Fogg Art Museum Fund.

Las discusiones europeas en torno a las ideas de autenticidad y restauración como la de John Ruskin influyeron en Forbes, como se evidenció en la decisión de limitar la intervención reintegradora del retablo de Botticelli para revelar el material original en lugar de una restauración invisible. Edward Forbes, insistió en el retoque "franco" y abogó por una restauración que fuera fácilmente distinguible del original, evitando el engaño al público. Si bien se había procedido a eliminar las restauraciones anteriores, el debate en torno a la autenticidad no se reducía a la autoría, sino que incluía los materiales originales, las transformaciones del tiempo y las huellas del uso y del contexto "el deterioro visible es parte de la historia del objeto y por tanto tiene valor en sí mismo". Este enfoque crítico debatía la práctica basada en *"devolver la obra a su estado ideal"* basado en repintes que simularan un completamiento total. A lo largo de su carrera, Forbes abogará por la mínima intervención y por reintegraciones discernibles, mostrando su oposición a la práctica centenaria de repintar las obras (Bewer 2010). [Figuras 7, 8 y 9]



Figura 7.- Master of the Fogg Pietà, Italian (c. 1300 - 1350). The Lamentation over the Dead Christ. Harvard Art Museums/Fogg Museum, Gift of Meta and Paul J. Sachs in memory of Grace Norton. <https://harvardartmuseums.org/collections/object/231417>



Figura 8 y 9.- Reintegración en 1930 del conservador R. Arcadiu Lyon mediante una técnica de líneas cruzadas. Fotografías de autora. <https://harvardartmuseums.org/article/secrets-of-the-fogg-pieta-part-ii>

• Reversibilidad

Respecto a la reversibilidad de los materiales aplicados en los procesos de conservación, los experimentos con los nuevos materiales sintéticos como los consolidantes de acetato de polivinilo PVA y los adhesivos utilizados en las transferencias de las pinturas murales en arte budista en *Dunhuang* (China), suscitaron un debate y preocupación por sus efectos a largo plazo. Si bien habían sido en un principio prometedores, su envejecimiento producía pérdida de cualidades y suponía una dificultad a la hora de eliminarlos sin dañar las obras originales. Al ser conscientes de esta situación, estaban identificando la incertidumbre inherente a la adopción de tratamientos novedosos y la importancia de tener en cuenta sus efectos a largo plazo.

• Colonización y arrancamientos de pintura mural

Por otro lado, las decisiones sobre qué preservar y cómo hacerlo en contextos culturales no occidentales se



Figura 10.- Bust of Bodhisattva (from the north wall of Mogao Cave 329 at Dunhuang, Gansu province) 7th century. Harvard Art Museums/Arthur M. Sackler Museum, First Fogg Expedition to China (1923-1924) <https://hvrd.art/o/210067>



Figura 11.- Instalación en el museo Fogg. Fotografía de autora.

tornaban complejas donde las prioridades y los valores culturales podían diferir significativamente de los de las sociedades que coleccionaban estas obras. El caso de las pinturas murales recolectadas de *Dunhuang* por Langdon Warner para el Museo Fogg abrió un debate ético sobre su adquisición y el riesgo de intervención de un lugar arqueológico en nombre de la preservación para el mundo occidental ^[13]. La negación de China ante una segunda campaña del museo, son muestra de este dilema (Balanchandran 2007; Bewer 2010). Como señalan Morilla (2024) y Wharton (2005), estas acciones revelan las tensiones coloniales subyacentes en la historia de la conservación y evidencian la necesidad de repensar la práctica como un espacio de diálogo intercultural, donde las comunidades de origen participen activamente en la toma de decisiones sobre su patrimonio.

Conclusiones

Pensar la conservación desde una mirada crítica implica asumir que conservar nunca es neutral. Todo acto de preservación transforma: selecciona, interpreta, excluye. La materia restaurada no solo porta huellas del tiempo, sino las decisiones y las ideologías que la sostienen. En este sentido, la conservación es un espacio de responsabilidad compartida donde se negocian los valores y donde la ética guía los principios en un ejercicio vivo de deliberación.

Releer así la experiencia del Museo de Arte Fogg permite comprender que las prácticas técnicas fueron acciones que encarnan un modo de pensar la obra. La observación, la documentación, la reversibilidad son lenguajes que revelan modos de entender.

En este sentido, la conservación crítica es una forma de conciencia que invita a cuestionar certezas, a escuchar disonancias y a entender que la práctica es un campo de negociación en que la sociedad se mira a sí misma a través de lo que decide preservar.

A partir de aquí se abren líneas de investigación: el estudio de la semántica y los conceptos; la exploración de las conexiones intelectuales entre Harvard, Oxford y los museos y centros de conservación europeos; y la revisión de figuras como George L. Stout y John Ruskin, fundamentales para comprender las trayectorias del pensamiento contemporáneo.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la beca del Real Colegio Complutense en Harvard y el History of Art and Architecture Department, (Faculty Grants for Short-Term Funded Visits (HRCC). Agradecer a instituciones como el Art Fogg Museum, el Strauss Center for Conservation, y el Isabella Stewart Gardner Museum, poder iniciar este camino inexplorado. A todas las personas que me han orientado para hacerlo realidad, especialmente al profesor Felipe Pereda, Catedrático Fernando Zóbel de Arte Español de la Universidad de Harvard; a Daniel Sanchez Mata, Director del HRCC; a Narayan Khandekar, Director del Strauss Center, agradecerles profundamente su amabilidad y la ayuda brindada.

Notas

[1] A lo largo del trabajo nos referiremos con el término conservación a todos los procesos integrados en la conservación-restauración, diferenciándolo de los estudios técnicos de Historia del Arte así como a las profesiones museísticas, a las que nos referiremos como Dirección de Museos o Estudios Curatoriales.

[2] American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (AIC) Annual Meeting General Sessions. Ethos Logos Pathos: Ethical Principles and Critical Thinking in Conservation. <https://goo.su/DKvvp6> [Consulta 20/04/2025]

[3] En el escudo de la Universidad de Harvard la palabra "Veritas" aparece en tres libros abiertos símbolo de la libertad de pensamiento y vinculado a las raíces teológicas protestantes del "New College" creado para formar a los pastores puritanos en la colonia británica de Cambridge en 1636.

[4] Información de la Facultad de Arte y Ciencias de Harvard. <https://infoforfaculty.fas.harvard.edu/>

[5] John Ruskin, profesor de Arte en la Universidad de Oxford, abordará el estudio crítico del Museo Ashmolean por su carácter enciclopédico acumulativo y descontextualizado.

[6] A mediados del siglo XIX, Giovanni Morelli, un médico coleccionista y marchante introduce el concepto de diagnóstico: "la interpretación de la evidencia material para determinar la identidad y el verdadero estado de una obra de arte"

[7] Una de sus primeras adquisiciones le supuso un gran reto en su conservación. Madonna and Child with Saints Nicholas of Tolentino, Monica, Augustine, and John the Evangelist, Girolamo di Benvenuto di Giovanni del Guasta. Debate sobre la idoneidad de su traspaso a lienzo

que desestimó por una intervención de estabilización menos invasiva y que se vio alterado por las condiciones climáticas del museo y optó por la solución de crear un microclima con un marco de vidrio. Ante los movimientos de la madera, se procedió a su traslado a lienzo si bien se atenuó el brillo del yeso sin proceder a una reintegración)

[8] Harvard Art Museums. (2019, October 21). Pigment collection colors all aspects of the museums. <https://harvardartmuseums.org/article/pigment-collection-colors-all-aspects-of-the-museums>

[9] American Defense, Harvard Group Records of the American Commission for the protection and salvage of Artistic and Historic monuments in War areas (the Roberts Commission), 1943-1946. <https://www.archives.gov/files/research/microfilm/m1944.pdf> [Consulta 20/04/2025]

[10] A brief history of IIC. Early years: conservation from the 1930s to post-war. <https://www.iiconservation.org/brief-history-iic> [Consulta 20/04/2025]

[11] The Murray Pease Report <https://www.jstor.org/stable/1505155> [Consulta 20/04/2025]

[12] Technical Studies in the field of the Fine Arts (1932-1942). <https://id.lib.harvard.edu/alma/990048016320203941/catalog> [Consulta 20/04/2025]

[13] Angela Chang (2015) Harvard and Dunhuang: 100 Years Later. The Dunhuang Foundation. https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=FX0rs_R4z-w

Referencias

APPELBAUM, B. (2013). Conservation in the 21st century: Will a 20th century code of ethics suffice?. Hatchfield, P. Ethics and Critical Thinking in Conservation. Washington, DC: AIC, 1-10.

ARNAL, L. (2017). Los restauradores de Camillo Boito. En Conversaciones... con Camilo Boito y Gustavo Giovannoni. 4: 249-260.

ARONSON, M. MCCLURE, I., PASSERI, I. (2017). The history of painting conservation at the Yale University Art Gallery. *The Burlington Magazine*, 159(1367): 122-131. <http://www.jstor.org/stable/24915815> [Consulta 20/04/2025]

ASHLEY-SMITH, J. (2018). The ethics of doing nothing. *Journal of the Institute of Conservation*, 41(1): 6-15. <https://doi.org/10.1080/19455224.2017.1416650> [Consulta 20/04/2025]

AUFFRET, S. (2019). Considerations on the Preservation of the Authenticity of Cultural Heritage: a Conservator's Journey. In "What is the Essence of Conservation?", *ICOM-CC and ICOFOM 25th General Conference Kyoto*, 17-23.

BALACHANDRAN, S. (2007). Object lessons: the politics of preservation and museum building in Western China in the early twentieth century. *International journal of cultural property*, 14(1): 1-32. <https://doi.org/10.1017/S0940739107070014> [Consulta 20/04/2025]

BEWER, F. G. (2023). Technical Studies in Fine Arts: Fogg Museum and the emergence of conservation. En *Congreso internacional Ciencia*,

Museología y Connoisseurship: El nacimiento del estudio científico de las obras de arte (Museo Nacional del Prado, Organizador). <https://www.youtube.com/watch?v=XGPQp6Gx8Ag> [Consulta 20/04/2025]

BEWER, F.G. (2022). Experiments in a Teaching Museum: The Fogg's "Laboratory for Art" 1. In *Histories of Conservation and Art History in Modern Europe*, Routledge, 127-142. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781003127369-11/experiments-teaching-museum-francesca-bewer> [Consulta 20/04/2025]

BEWER, F.G. (2013). A laboratory for art in its library. *Harvard Library Bulletin* 23 (3), Fall 2012: 11-12. <http://nrs.harvard.edu/urn-3:HUL.InstRepos:42669099> [Consulta 20/04/2025]

BEWER, F. G. (2010). *A Laboratory for Art: Harvard's Fogg Museum and the emergence of conservation in America, 1900-1950*. Published by the Harvard Art Museum. Yale University Press

BEWER, F. (1998). Early history of conservation and technical studies at the Fogg Art Museum. *Conservation DistList Archives*. <https://cool.culturalheritage.org/byform/mailling-lists/cdl/1998/1145.html> [Consulta 20/04/2025]

BLEWETT, M. (2020). *Notes on the history of conservation documentation: examples from the UK and USA*, 291-294. <https://doi.org/10.4324/9780429399916-18>.

CAPLE, C., WILLIAMS, E. (2023) *Conservation Skills for the 21st Century: Judgement, Method, and Decision-Making* (2.ª ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003009078> [Consulta 20/04/2025]

CARDINALI, M. (2023). La Conferenza di Roma del 1930 e la (scarsa) partecipazione degli storici dell'arte italiani. En *Congreso internacional Ciencia, Museología y Connoisseurship*: El nacimiento del estudio científico de las obras de arte (Museo Nacional del Prado, Organizador). <https://youtu.be/EGcskzyvWA> [Consulta 09/10/2025]

CARDINALI, M. (2022). Rome 1930: The International Conference on the Scientific Analysis of Artworks and its Legacy in Italy. En Dupré, S., Boulboulé, J. (eds.) *Histories of Conservation and Art History in Modern Europe*, 58-75. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003127369> [Consulta 09/10/2025]

CLAVER, M. (1998). The Social and Historic Construction of Professional Values in Conservation. *Studies in Conservation*, 43(1): 1-8. <https://doi.org/10.2307/1506631> [Consulta 20/04/2025]

COHN, M. B. (2024). The beginnings of art history at Harvard, Part 2: Charles Herbert Moore, John Ruskin, and the teaching of drawing. Harvard Art Museums. <https://harvardartmuseums.org/article/the-beginnings-of-art-history-at-harvard-part-2-charles-herbert-moore-john-ruskin-and-the-teaching-of-drawing> [Consulta 20/04/2025]

DUNCAN, S. A., MCCLELLAN, A. (2018). *The art of curating: Paul J. Sachs and the museum course at Harvard*. Getty Publications.

DUNCAN, S. A. (2002). Harvard's "Museum Course" and the Making of America's Museum Profession. *Archives of American Art Journal*, 42(1/2): 2-16. <http://www.jstor.org/stable/1557847> [Consulta 20/04/2025]

DRAGONI, P. (2024). From Athens to New York via Madrid: The consequences of the 1931 Congress on the cultural and museum policies pursued by the Office International des Musées. *ARTis ON*, 12 [Special Issue. 90th Anniversary of the Athens Charter for the Restoration of Historic Monuments (1931)], 47-58. ARTIS – Instituto de História da Arte, Universidade de Lisboa. <https://artis-on.letras.ulisboa.pt/index.php/aio/issue/view/13> [Consulta 09/10/2025]

DUPRÉ, S., & BOULBOULÉ, J. (Eds.). (2022). *Histories of Conservation and Art History in Modern Europe*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003127369> [Consulta 09/10/2025]

FOGG ART MUSEUM (1965). Memorial exhibition: Works of art from the collection of Paul J. Sachs, 1878-1965: Given and bequeathed to the Fogg Art Museum, Harvard University, Cambridge, Massachusetts (Comp. por Agnes Mongan, con la asistencia de Mary Lee Bennett). Harvard University. www.moma.org/calendar/exhibitions/2592

FORBES, E.W., DUDLEY, L. H. (1913) The Fogg Museum of Harvard University. *Museum of Fine Arts Bulletin*, 11(64): 35-41. <http://www.jstor.org/stable/4423594> [Consulta 20/04/2025]

FREITAG, W. M. (ed.) (1975). *Technical Studies in the Field of the Fine Arts* (Vol. I, 1932-1933). Garland Publishing, Inc., New York & London. [Reimpresión facsimilar de la edición del Fogg Art Museum, Harvard University]. [Consulta 09/10/2025]

HATCHFIELD, P. (2013). *Ethics & Critical Thinking in Conservation*. American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

HARVARD ART MUSEUMS, THE SOCIAL MUSEUM COLLECTION. <https://harvardartmuseums.org/tour/20/slide/236> [Consulta 20/04/2025]

HARVARD ART MUSEUMS (2025). The art of looking: 150 years of art history at Harvard [Exhibition]. University Teaching Gallery, Harvard Art Museums. <https://harvardartmuseums.org/exhibitions/6476/the-art-of-looking-150-years-of-art-history-at-harvard> [Consulta 20/04/2025]

HÖLLING, H. (2016). The aesthetics of change: on the relative durations of the impermanent and critical thinking in conservation. *Authenticity in Transition: Changing Practices in Art Making and Conservation*, 13-24. https://www.researchgate.net/publication/339512954_The_aesthetics_of_change_on_the_relative_durations_of_the_impermanent_and_critical_thinking_in_conservation [Consulta 20/04/2025]

HÖLLING, H. B., BEWER, F. G., AMMANN, K. (Eds.). (2019). Material encounters. En *The explicit material: inquiries on the intersection of curatorial and conservation cultures* (Vol. 1). Brill. <https://brill.com/edcollbook/title/38670> [Consulta 20/04/2025]

INTERRANTE, M. (2019). The Fruits of Forbes's Travels. En *Harvard Art Museums Web*. <https://harvardartmuseums.org/article/the-fruits-of-forbes-s-travels> [Consulta 20/04/2025]

JONES, S. (2017). Wrestling with the Social Value of Heritage: Problems, Dilemmas and Opportunities. *Journal of Community Archaeology & Heritage*, 4(1): 21-37. <https://doi.org/10.1080/20518196.2016.1193996> [Consulta 09/10/2025]

MARINELLI, S. (2014). Il restauro come atto critico: il restauro come fatto storico. In *Il restauro come atto critico. Venezia e il suo territorio*, 11-12. Edizioni Ca'Foscari-Digital Publishing. <https://iris.unive.it/bitstream/10278/44190/3/978-88-97735-73-1.pdf> [Consulta 20/04/2025]

MARKEVICIUS, T. OLSSON, N. (2023). Towards sustainable conservation science in cultural heritage: bridging the gap between contemporary conservation theory and the philosophy of science in approaches to authenticity questions. *Frontiers. Mater.* <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1274627> [Consulta 20/04/2025]

MORILLA, C. (2024). Conservation as Cultural Practice: The Portrait Collection of Indigenous Delegates by Henry Inman. *Studies in Conservation*, 69: 756 - 768. <https://doi.org/10.1080/00393630.2024.2328383>. [Consulta 09/10/2025]

MUÑOZ-VIÑAS, S. (2018). Subjetividad y restauración. El argumento del criterio cambiante. *Anuario TAREA*, (1). <https://revistasacademicas.unsam.edu.ar/index.php/tarea/article/view/315>

MUÑOZ-VIÑAS, S. (2013). The Frankenstein Syndrome. *Ethics and Critical Thinking in Conservation*, 111-126.

OFFICE INTERNATIONAL DES MUSÉES (1930) Conférence internationale pour l'étude des méthodes scientifiques appliquées à l'examen et à la conservation des œuvres d'art, Rome, 13-17 octobre 1930. *Société des Nations. Archives de l'UNESCO*, Paris. Disponible en: https://atom.archives.unesco.org/conference-internationale-pour-letude-des-methodes-scientifiques-appliquees-a-l'examen-et-a-la-conservation-des-oeuvres-dart-rome-13-17-octobre-1930-communication-de-m?sf_culture [Consulta 09/10/2025]

ORCUTT, K. (2006). Personal collecting meets institutional vision The origins of Harvard's Fogg Art Museum. *Journal of The History of Collections*, 18: 267-284. <https://doi.org/10.1093/JHC/FHL021> [Consulta 09/10/2025]

RIVENC, R. (2022). Objects, memory, and restorative justice: A personal reflection on conservation's meaning. In Papers presented during the General and Concurrent Sessions, AIC's 50th Annual Meeting, *American Institute for Conservation*, 1: 1-12. <https://doi.org/10.1093/jhc/fhl021> [Consulta 20/04/2025]

SCHÄDLER-SAUB, U. (2019). Conservation Ethics today: are our conservation-restoration theories and practice ready for the twenty first Century? Introductory notes to some central issues. *Protection of Cultural Heritage*, 8 (8): 291-300. <https://doi.org/10.35784/odk.1099> [Consulta 20/04/2025]

SCOTT, D. A. (2015). Conservation and authenticity: Interactions and enquiries. *Studies in Conservation*, 60(5): 291-305. <https://doi.org/10.1179/2047058414Y0000000159> [Consulta 09/10/2025]

SHEA, A. (2014). Science of art conservation in U.S. began with one man's collection of colors at Harvard. WBUR. <https://www.wbur.org/news/2014/11/13/harvard-art-museums-forbes-pigment-collection> [Consulta 20/04/2025]

SWEETNAM, E., HENDERSON, J. (2022). Disruptive conservation: Challenging conservation orthodoxy. *Studies in Conservation*, 67(1-2): 63-71. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00393630.2021.1947073> [Consulta 20/04/2025]

STONER, J. (2015). Vignettes of interdisciplinary technical art history investigation. Supplemented by the FAIC Oral History Archive In honor of Roger H. Marijnissen. In *CeROArt. Conservation, exposition, Restauration d'Objets d'Art* (No. HS). Association CeROArt asbl. <https://journals.openedition.org/ceroart/4508> [Consulta 20/04/2025]

TAYLOR, J., & MARÇAL, H. (2022). Conservation in the Performative Turn. *Studies in Conservation*, 67(1): 260-266. <https://doi.org/10.1080/00393630.2022.2067717> [Consulta 09/10/2025]

VAN SAAZE, V. (2013). Key Concepts and Developments in Conservation Theory and Practice. In *Installation Art and the Museum: Presentation and Conservation of Changing Artworks*, Chapter, Amsterdam University Press, 35-60.

WHARTON, G. (2005). Indigenous claims and heritage conservation: an opportunity for critical dialogue. *Public Archaeology*, 4(2-3): 199-204. <https://doi.org/10.1179/pua.2005.4.2.3.199> [Consulta 09/10/2025]

Autor/es



Ana Galán-Pérez

am.galan.perez@ucm.es

Universidad Complutense de Madrid

<https://orcid.org/0000-0002-4583-3108>

Profesora Ayudante Doctora del Departamento de Pintura y Conservación-Restauración, Facultad de Bellas Artes, Universidad Complutense de Madrid, España. Doctora en Bellas Artes por la Universidad de Sevilla, Licenciada en Historia del Arte por la Universidad de Zaragoza y titulada en Conservación-Restauración de Bienes Culturales por la Escola Superior de Conservació i Restauració de Béns Culturals de Catalunya. Es miembro del grupo de investigación GREPAC, Gestión de Riesgos y Emergencias en Patrimonio Cultural (UCM) e investigadora integrada en CroMe, Unità di ricerca "Culture as good and as a medium" de la Università del Salento (Italia). Sus investigaciones se centran en la convergencia de los estudios de conservación patrimonial y museísticos desde las humanidades y la sociología, especialmente en el ámbito de las exposiciones temporales en contextos museográficos internacionales.

Artículo enviado 08/05/2025
Artículo aceptado el 20/10/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1403>



Julia Isabel Pernas Bujados (1918-2014). Primera restauradora del Servicio del Tesoro Artístico de Patrimonio Nacional

María Concepción García Cabarcos

Resumen: Este año 2025 se cumple el 75º aniversario de la creación del taller de restauración de pinturas de Patrimonio Nacional y es nuestro deseo darlo a conocer a través de la figura de Julia Isabel Pernas Bujados, primera mujer que fue nombrada restauradora para este servicio. A lo largo de este artículo, que revela datos sobre su vida, su formación académica y trayectoria profesional, se ofrecen datos inéditos fundamentales para la historia de la conservación y restauración de nuestro patrimonio artístico y para la historia de la profesión de conservador-restaurador en España. Se presenta un capítulo extraordinario como es la creación del taller de restauración de pinturas de Patrimonio Nacional, acontecido el 27 de enero de 1950. Además, se desvelan los nombres de otros restauradores que conformaron esta primera plantilla, todos ellos jóvenes altamente formados y motivados en cultivar la práctica de la restauración moderna ya imperante en Europa.

Palabras clave: restauración, restauradores, Palacio Real, pinturas

Julia Isabel Pernas Bujados (1918-2014). First restorer of the Artistic Treasure Service of National Heritage

Abstract: This year 2025, the National Heritage painting restoration workshop celebrates its 75th anniversary and we wish to highlight this milestone through the figure of Julia Isabel Pernas Bujados, the first female restorer appointed to this service. Throughout this article, which reveals details about her life, academic background, and professional career, previously unpublished information is provided that is fundamental to the history of the conservation and restoration of our artistic heritage and the history of the conservator-restorer profession in Spain. An extraordinary chapter is dedicated to the creation of the National Heritage painting restoration workshop, which took place on January 27, 1950. Additionally, the names of other restorers who formed this initial team are revealed, all of whom were young, highly trained, and motivated to cultivate the practice of modern restoration already prevalent in Europe.

Keywords: restoration, restorers, Royal Palace, paintings

Julia Isabel Pernas Bujados (1918-2014). Primeira restauradora do Serviço do Tesouro Artístico do Património Nacional

Resumo: No ano de 2025 assinala-se o 75.º aniversário da criação do atelier de restauro de pinturas do Património Nacional, e é nosso desejo divulgá-lo através da figura de Julia Isabel Pernas Bujados, a primeira mulher nomeada restauradora para este serviço. Ao longo deste artigo, que revela dados sobre a sua vida, formação académica e percurso profissional, apresentam-se informações inéditas fundamentais para a história da conservação e restauro do nosso património artístico e para a história da profissão de conservador-restaurador em Espanha. É apresentado um capítulo extraordinário: a criação do atelier de restauro de pinturas do Património Nacional, ocorrida a 27 de janeiro de 1950. Além disso, são revelados os nomes de outros restauradores que integraram esta primeira equipa, todos eles jovens altamente qualificados e motivados em cultivar a prática do restauro moderno já vigente na Europa.

Palavras-chave: restauro, restauradores, Palácio Real, pinturas

Introducción

El pasado año 2024 se cumplió el X Aniversario del fallecimiento de Julia Isabel Pernas Bujados (1918-2014). Desde entonces, hemos querido dar a conocer detalles de su vida y su destacada carrera profesional, en homenaje a su importante contribución a la conservación y restauración de nuestro patrimonio artístico. Discreta, trabajadora y enamorada del arte y de su profesión, la mayor parte de su vida la pasó en Madrid donde desarrolló su carrera artística. Después de su extensa formación en la Escuela de Bellas Artes de San Fernando, encontró su verdadera vocación en la restauración de pinturas. Su dedicación y excelencia le aseguraron en 1955 una plaza como restauradora del Servicio del Tesoro Artístico de Patrimonio Nacional. Durante casi cuarenta años, restauró numerosas obras en las colecciones reales, destacando las pinturas murales de Giambattista Tiepolo del Salón de Alabarderos, las del techo del Comedor de Gala de González Velázquez, ambas del Palacio Real de Madrid, el temple en grisalla sobre lienzo que representa a *Santa Isabel de Portugal curando a una enferma* de Francisco de Goya, expuesto hoy en la Galería de las Colecciones Reales, la Virgen y Capilla del Milagro de Las Descalzas Reales, además de innumerables obras de artistas tan importantes como Velázquez y El Greco.

Datos biográficos

Julia Isabel Pernas Bujados nació en Santa Cruz (Argentina) el 8 de julio de 1918 y fue nacionalizada española^[1]. Su padre, Eduardo Pernas, era natural de Viveiro (Lugo) y, su madre, Isabel Bujados Fernández, obtuvo la nacionalización española al contraer matrimonio.

Según datos publicados en relación a su tío, Manuel Arcadio Bujados Fernández (1889-1954), retratista, dibujante e ilustrador reconocido, los Bujados eran comerciantes valencianos que se asentaron en Viveiro (Lugo). La casa familiar daba a la Plaza Mayor y a la Avenida de la Mariña nº 31 y, en la parte baja, se situaba el comercio familiar, que fue una ferretería. Además, tenían una casa en Guitiriz para los períodos estivales (Lage-Seara 2022) donde es posible que Isabel y su tío Arcadio coincidieran algunas temporadas, influenciándole éste en su gusto por la pintura.

Isabel Pernas estudió en el Instituto de Enseñanza Media "Hispania" de Viveiro y en 1940 solicitó inscribirse para el Examen de Estado del Bachillerato Universitario^[2], habiendo superado todas las materias reglamentarias que le habilitarían para acceder a estudios superiores.

Pensionada por la Diputación Provincial de Lugo (1941-1947)

El 12 de mayo de 1941, a los 22 años, Isabel Pernas solicitó a la Diputación Provincial de Lugo una pensión para realizar estudios de Dibujo en la Escuela Central de Bellas Artes de

San Fernando de Madrid (en adelante Escuela de Bellas Artes de San Fernando)^[3]. Para demostrar sus aptitudes artísticas, adjuntó cinco dibujos, de los cuales hemos localizado hasta ahora dos; uno representa la cabeza de una mujer de perfil, realizado a lápiz y acuarela, y el otro, una ilustración a plumilla con algunos toques de color, que recuerda, en estilo, a las ilustraciones oníricas de su tío Arcadio Bujados.

La Comisión Provincial, en sesión de 20 de mayo, acordó concederle una subvención de 2.500 pesetas, siguiendo con la práctica de la Diputación de proteger a los hijos de la provincia que revelasen capacidades excepcionales para el cultivo de las Bellas Artes (Quiroga Figueroa 2023).

Una vez concedida la beca, Isabel Pernas se trasladó a Madrid, realizó el examen de ingreso a la Escuela de Bellas Artes de San Fernando y, durante el curso 1941-1942, asistió como alumna de "Colorido primero de preparatorio". Presentó justificación de estos trámites a la Diputación Provincial de Lugo el 7 de julio de 1942, junto con dos escritos de profesores que abogaban por su continuidad en la Escuela^[4]. Aunque ya cumplía con las condiciones para disfrutar de la subvención, entregó además un cuadro al óleo, del que no se indicó en la documentación ni el tema pintado ni sus medidas. Sospechamos que ese lienzo [Figura 1] se conserva actualmente en el Museo Provincial y representa el busto de un maniquí con ropajes al natural. Teniendo en cuenta que uno de los requisitos de acceso era la realización de un "dibujo de estatua", consideramos que se trata del examen para su ingreso en la Escuela. En el larguero superior del bastidor dejó escrito su nombre: "Isabel Pernas Bujados".



Figura 1. - Isabel Pernas Bujados, sin título, óleo sobre lienzo, 90 x 79 cm., 1942. No expuesto. Museo Provincial de Lugo

Este fue el inicio de consecutivos años académicos, en los que Isabel Pernas perfeccionó su faceta artística [Figura 2]. Las ayudas de la Diputación las recibía tras superar cada curso, por lo que mantenerse durante los meses previos le suponía un enorme esfuerzo. En octubre de 1942 Isabel solicitó adelantar parte de la ayuda y el año anterior tuvo que pedir dinero prestado que devolvió íntegro al recibir la pensión. En su escrito, informó, al secretario de la Diputación, sobre sus progresos y dedicación a los estudios, mañana y tarde, y de los muchos gastos que le suponían, además de las matrículas, los materiales que, debido a la escasez de suministros por la posguerra, se pagaban a precios muy elevados^[5].



Figura 2.- Isabel Pernas Bujados (derecha) en la Escuela de Bellas Artes de San Fernando de Madrid, junto al profesor y alumnos, 1941-1947. Museo Nacional del Prado.

Fueron tiempos difíciles para la población, con escasez de alimentos, limitaciones en el acceso a la educación y un mercado laboral precario. La supervivencia se convirtió en la prioridad y la vida cotidiana se vio profundamente afectada por estas condiciones adversas. A los pocos días Isabel Pernas recibió contestación a su solicitud, pero no pudieron satisfacer sus deseos, debido a la prohibición de adelantar el importe de becas y el pago parcial de las mismas, según la Comisión Gestora de la Diputación.

La inestabilidad económica llevó a Isabel Pernas a cambiar de domicilio continuamente. Durante los primeros diez años, residió en al menos seis viviendas, posiblemente pensiones, en las calles Ayala, Goya, Víctor Pradera (posteriormente Juan Álvarez Mendizábal) y Marqués de Urquijo, acompañada de su madre y hermana. Desde 1951, su residencia habitual se estableció en la calle Ferraz.

A pesar de todas estas dificultades, Isabel continuó sus estudios en Bellas Artes, beneficiándose de la gratuidad de algunas matrículas. Antes de cada curso, se inscribía en tres o cuatro asignaturas de las que componían el programa: *Liturgia y cultura cristiana*, *Dibujo del natural* (1º), *Anatomía artística*, *Colorido*, *Procedimientos pictóricos* (1942-1943); *Dibujo al natural* (2º), *Colorido y Composición* (1º), *Perspectiva e Historia General de las Artes Plásticas* (1943-1944); *Dibujo del natural en movimiento*, *Colorido y composición* (2º), *Teoría e*



Figura 3.- Isabel Pernas Bujados, Retrato Felipe IV (copia), óleo sobre lienzo, 90 x 79 cm., hacia 1946-1947. No expuesto, Museo Provincial de Lugo.

Historia de la Pintura, Paisaje y Restauración de cuadros (1944-1945); *Pedagogía del Dibujo, Dibujo Geométrico y Proyecciones, Dibujo Decorativo y Ampliación de Historia de las Artes* (1945-1946), *Ilustración y Restauración de cuadros* (1946-1947). Hasta 1947, contó con la beca de la Diputación Provincial de Lugo, a quien informaba, al final de cada curso sobre sus calificaciones, siendo mayoritariamente de "Aprobado", excepto en Restauración, donde obtuvo "Sobresaliente".

Para justificar sus progresos como pintora, cada año Isabel Pernas entregaba un cuadro a la Diputación de Lugo. El 22 de junio de 1944, presentó una copia de "La Dolorosa" de Tiziano (P444, Museo Nacional del Prado) de 66 x 51 cm, aún sin localizar. El 28 de mayo de 1945, entregó una copia de "Felipe IV" de Velázquez (P1183, Museo Nacional del Prado) que se conserva en el Museo provincial de Lugo, de 59,5 x 46,5 cm. [Figura 3]. El 2 de julio de 1946, entregó un cuadro al óleo titulado "El ermitaño", también sin localizar. Finalmente, el 12 de julio de 1947, presentó otra versión de "La Dolorosa" de Tiziano (posiblemente P443, Museo Nacional del Prado), y solicitó ampliar un año más la beca para continuar su formación en la "Restauración de cuadros". Esta vez, la Diputación denegó su solicitud, ya que había excedido el número de ampliaciones permitidas^[6].

Copista en el Museo Nacional del Prado

La copia de obras de grandes maestros fue fundamental para la formación de los alumnos de Bellas Artes. Isabel Pernas

figura en los libros de registro de entrada de copistas en el Museo Nacional del Prado en quince ocasiones entre 1943 y 1951. Aunque el motivo principal era instructivo, al menos cuatro de sus copias fueron encargos oficiales. Realizó diez copias de las siguientes pinturas, cuyos originales se encuentran en el Museo Nacional del Prado: *La Dolorosa* de Tiziano (P444), 66 x 51 cm., *El bufón el Primo* de Velázquez (P1201), 100 x 74 cm., *Caballero de la mano en el pecho* de El Greco (P809), 78 x 63 cm., *La Dolorosa* de Tiziano (P443), dos copias, 0,59 x 0,66 cm. y 59 x 65 cm., *La Virgen del Rosario* de Bartolomé Esteban Murillo (P975), 81 x 65 cm., *Las Hilanderas* de Velázquez (P1173), 150 x 113 cm., *Caza y perros* de P. Boel (P1363), 146 x 200 cm., *Tres músicos ambulantes* de J. Jordaens (P1550), 55 x 46 cm., *El Salvador, de hortelano* de Tiziano (P442), 67 x 61 cm.

Además de las mencionadas, Isabel Pernas realizó cuatro copias más entre 1949 y 1951, todas de gran formato (300 x 161 cm), encargadas por Juan Contreras y López de Ayala, marqués de Lozoya, entonces director general de Bellas Artes^[7]. Las pinturas copian cuatro originales del Museo Nacional del Prado y, una vez concluidas, se colocaron en el retablo del altar mayor de la Iglesia de Santa María, en Alcalá de Henares^[8]. Las copias representan *La Anunciación* de Murillo (P970), *El nacimiento de la Virgen* de J. Leonardo (P860), *La Adoración de los Reyes Magos* de Juan Bautista Maíno y *La Asunción de Juan Martín Cabezalero*, anteriormente atribuido a Mateo Cerezo (P658)^[9].

Las copias fueron para Isabel una fuente de aprendizaje y ayuda económica para continuar su formación en la capital y proyectar futuros viajes al extranjero. Desde finales del siglo XIX y gran parte del siglo XX, la copia fue uno de los ejercicios prácticos en los programas de oposiciones para las plazas de restaurador de pinturas en instituciones como el Museo Nacional de Pinturas (o de la Trinidad), el Museo Nacional del Prado y la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando (Vicente Rabanaque 2010: 387-398). Es muy posible que el catedrático Francisco Núñez Losada (1889-1973), responsable de la formación en la restauración de pinturas en esta Escuela, enviase a sus alumnos a copiar pinturas del Museo del Prado y de la propia Academia. Compañeras de Isabel Pernas en la Cátedra de restauración, como Irene Gracia, Justa Pages, Pilar Barrera y Cecilia Juárez, también figuran en los libros de registro de copistas del Museo Nacional del Prado.

Alumna en la Cátedra de Restauración de Francisco Núñez Losada

Francisco Núñez Losada (1889-1973) fue pintor y catedrático en la Escuela de Bellas Artes de San Fernando de Madrid. En 1941 aprobó una plaza como restaurador de la Junta de Conservación de Obras de Arte, pero cesó voluntariamente al año siguiente para ocupar otro

cargo en la administración del Estado como catedrático de paisaje en la Escuela de Bellas Artes de San Jorge de Barcelona (García Cabarcos 2021: 242-246 y García Cabarcos 2023). Poco después, volvió a Madrid y ocupó la Cátedra de Restauración de la Escuela de Bellas Artes de San Fernando, donde posteriormente colaboraría su hijo, Francisco Núñez de Celis (1919-1996).

A pesar de lo duros que resultaron los años de aprendizaje, Isabel Pernas mantuvo toda su vida un recuerdo de permanente gratitud hacia Núñez Losada, su admirado profesor. Bajo su tutela y junto a su compañera inseparable, Cecilia Juárez, se consideró fundadora del equipo español de restauradores de la Escuela de Bellas Artes de la Academia de San Fernando^[10]. Sus notas fueron brillantes, no bajó de sobresaliente, además de conseguir varias Matrículas de Honor y premios en metálico, destacándose como una de las alumnas más aventajadas. Los veranos los aprovechó para continuar aprendiendo y se marchaba fuera de Madrid con las campañas de trabajo que organizaba la Escuela. Estuvo en Toledo y en Segovia, donde restauraron las pinturas del Retablo del Monasterio de San Juan de los Reyes (Toledo). En Segovia, trabajaron en varios cuadros de diferentes iglesias de la provincia y de la colección del Museo provincial [Figura 4]. Entre las pinturas trasladadas a la Escuela destacan el retablo de la Iglesia de la Vera Cruz de Segovia, el retablo de San Martín de Tours, propiedad del Museo Arqueológico Nacional y un lienzo de gran formato del Convento de las Trinitarias de El Toboso (Toledo) [Figura 5]. En el Real Monasterio de San Lorenzo de El Escorial restauraron las pinturas del Retablo Mayor de la Basílica, el *Martirio de San Lorenzo* de Tiziano, el Tríptico del Claustro de las Procesiones y el *Milagro de San Fernando* de Lucas Jordán. En el Palacio Real de Madrid, entre otras pinturas, restauraron el tríptico *Asunto místico*, atribuido a Geertgen tot Sint Jans [Figuras 6 y 7] y la tabla de *La Presentación de la Virgen María en el templo* del Maestro de la Redención del Prado [Figura 9] estos últimos propiedad de Patrimonio Nacional^[11].



Figura 4. - Museo Provincial de Segovia. Restauradores y profesores: Ramón Fernández-Moreno, Cecilia Juárez García, Irene Gracia Ara (?), Francisco Núñez Losada, Isabel Pernas y Francisco Núñez de Celis. Hacia 1948-1953. Museo Nacional del Prado.



Figura 5.- Alumnos en la Cátedra de Restauración de pinturas de Francisco Núñez Losada (Isabel Pernas a su derecha), Escuela Central de Bellas Artes de San Fernando, Madrid. Hacia 1948-1953. Museo Nacional del Prado.



Figura 6.- Cecilia Juárez García e Isabel Pernas Bujados en el taller de restauración de pinturas del Palacio Real de Madrid. Hacia 1953-1955. Museo Nacional del Prado.



Figura 7.- Isabel Pernas Bujados, Cecilia Juárez García y Jose Ramón Alonso Castrillo, posando junto al Tríptico *Asunto místico*, atribuido a Geertgen tot Sint Jans. Palacio Real de Madrid. Hacia 1953-55. Museo Nacional del Prado.



Figura 8.- Isabel Pernas Bujados restaurando *La Presentación de la Virgen en el templo* del Maestro de la Redención del Museo del Prado. Palacio Real de Madrid. Hacia 1953-55. Museo Nacional del Prado.

Las intervenciones de obras de las provincias se realizaron por mediación de Juan de Contreras y López de Ayala, marqués de Lozoya (1893-1978), entonces Director General de Bellas Artes, y las realizadas en el Palacio Real de Madrid y en el Real Monasterio de San Lorenzo de El Escorial, bajo la dirección de Francisco Iñiguez Almech (1901-1982), Jefe de la Dirección General de Defensa del Patrimonio Artístico Nacional.

Becada por el Ministerio de Asuntos Exteriores (1953-1954): Istituto del Restauro de Roma

En junio de 1953, Isabel Pernas, con el apoyo de Francisco Núñez Losada, solicitó una beca de ocho meses al Ministerio de Asuntos Exteriores para cursar restauración en el Istituto del Restauro de Roma^[12] y estudiar la pintura de los museos de Italia. El Gobierno italiano le concedió una ayuda para el curso 1953-1954 con una estancia de cuatro meses, dotada de 45.000 liras mensuales y una ayuda de viaje de 10.000.

Debido a trabajos de restauración en el Museo Diocesano de Mallorca, aplazó su estancia en Italia hasta enero de 1954. Tras gestiones con el marqués de Lozoya, entonces director de la Academia Española de Bellas

Artes en Roma, y Luis García de Llera, Director General de Relaciones Culturales, consiguió alojamiento en dicha Academia durante su estancia en la capital italiana^[13].

Cuando llegué a Italia, en mi primer viaje, a donde fui por haberseme concedido una Beca del Ministerio de Asuntos Exteriores para el "Istituto del Restauro" en Roma estudié bajo la dirección de su Director Dr. Cesare Brandi, el Dr. [Michelangelo] Cagianò Azevedo y la señora [Licia] Borrelli, completando mis estudios cuando volví por segunda vez con una Beca de la Fundación Juan March, y estudié bajo los profesores Paolo y Laura Mora y varios restauradores más que completaron las enseñanzas que D. Francisco Núñez Losada había impartido desde sus comienzos y durante ocho años que trabajé con él y bajo su profesional experiencia en la clase de Restauración de la Escuela de San Fernando, donde cursé completa mi carrera de Bellas Artes, ganándome tan por completo la restauración que abandoné mis primeras ideas de dedicarme a pintar o a la enseñanza.

Al volver de Italia y Portugal fui nombrada Restauradora en propiedad del Patrimonio Nacional-Palacio Real de Madrid. Restaurando las grandes y maravillosas obras de arte que alberga en sus museos, palacios y monasterios con sus pinturas murales, tablas, cobres, lienzos, etc.^[14].

Desconocemos los detalles de esta primera estancia en el Instituto de Roma, pero es muy probable que a Isabel le interesara especialmente las singularidades de la conservación de pintura mural y el complejo tratamiento del traspaso del soporte mural a tela, especialidad del profesor Azevedo (1912-1981). Poco después de su regreso a España, fue nombrada restauradora del Servicio del Tesoro Artístico de Patrimonio Nacional, donde desarrolló su carrera profesional, durante casi cuarenta años, hasta su jubilación.

Este Servicio tuvo su origen en el Servicio de Defensa del Patrimonio Artístico Nacional (SDPAN) que se creó por Decreto del Ministerio de Educación Nacional de 22 de abril de 1938 (BOE nº 549 de 23 de abril de 1938) en la Guerra Civil, y en 1943, una vez finalizadas las tareas de recuperación de bienes por el gobierno del general Franco, continuó activo como organismo encargado de restaurar obras de arte vinculadas históricamente a la Corona de España, conocido hoy con el nombre de Patrimonio Nacional^[15]. En paralelo, desde 1920 existía en España la llamada Junta de Conservación de Obras de Arte (1920-1961), servicio estatal encargado de conservar y restaurar el patrimonio histórico español (García Cabarcos 2023).

La creación del taller de restauración del Servicio del Tesoro Artístico de Patrimonio Nacional

Si echamos la mirada atrás, los datos más conocidos sobre la restauración de pinturas de las colecciones

reales son los relacionados con el primigenio taller que se instaló en la corte madrileña tras el incendio ocurrido en el viejo Alcázar de los Austrias en 1734, para salvar el mayor número de pinturas afectadas. Estos trabajos fueron realizados por los pintores de Cámara Juan García de Miranda y Andrés de la Calleja (Martínez Leiva 2011). Posteriormente, en 1819, se instaló un taller en el Real Museo de Pinturas y Escultura, actual Museo Nacional del Prado, encargado de la conservación de las pinturas de la pinacoteca y de las ubicadas en los Palacios y Reales Sitios (García Cabarcos 2021). Si bien hasta aquí contamos con bibliografía al respecto, sobre las restauraciones de las pinturas en las colecciones reales a partir de 1869, las publicaciones se tornan prácticamente inexistentes. En ese año, la Real Casa dejó de contar con el taller de restauración del Museo del Prado, que velaba por la conservación de todas sus pinturas. Esto se debió a que, tras la Revolución de 1868 y el exilio de Isabel II, el Real Museo pasó a depender administrativamente del Consejo de Administración del Patrimonio de la Corona, dependiente en un primer momento del Ministerio de Hacienda, y este taller de restauración dejó de tener en exclusiva la conservación de las pinturas ubicadas en Palacios y Reales Sitios. Desde entonces, y hasta mediados del siglo XX, Patrimonio Nacional no contó de nuevo con un taller propio, y se sirvió de conocidos y acreditados restauradores externos para la conservación de sus pinturas.

Para tratar de cambiar la situación, el 20 de marzo de 1875 la Real Casa nombró a Francisco Vicente Longinos (1827-1916) restaurador de pinturas del Real Sitio de San Lorenzo de El Escorial, cargo que desempeñó hasta 1916^[16]. Para la restauración de pinturas murales contrató, en diversas ocasiones, al pintor decorador Adelaido Polo y Lago (doc.1903-1910), que según describe la prensa de la época, era un "restaurador sin rival en la pintura al fresco" (Pulido 1911)^[17]. En 1912, tras una larga y reñida oposición se nombró a Gabriel Palencia Ubanell (1869-1934) "Restaurador de pinturas de la Real Casa"^[18] y, a propuesta de éste, en 1919, Emilio Pardo del Moral (1901-1963) fue nombrado su ayudante^[19]. Este reducido taller se mantuvo hasta el 31 de diciembre de 1932 que fue suprimido por el Gobierno de la República, posiblemente debido a que se estimó suficiente para estos trabajos el servicio que prestaba la Junta de Conservación de Obras de Arte y el taller de restauración del Museo Nacional del Prado^[20]. A partir de esta fecha y durante la década de 1940, la restauración de pinturas de los Palacios y Reales Sitios se confió a restauradores externos a la institución: pinturas tan emblemáticas como los Trípticos de El Bosco del Real Monasterio de San Lorenzo de El Escorial, el *Jardín de las delicias* y el *Carro de heno*, fueron trasladados al taller del Museo Nacional del Prado para su restauración (García Cabarcos 2021: 191-192). Jerónimo Seisdedos y Vicente Jover, del Prado, Manuel de Arpe y Tomás Pérez, de la Junta de Conservación de Obras de Arte, y otros restauradores con talleres propios en la capital,

como Antonio Bisquert, Eugenio Lafuente o la conocida Casa Macarrón, entonces llamada “La España Artística. Viuda de A. Macarrón”, restauraron pinturas de la Real Casa entre 1940 y 1946, previa aprobación de los presupuestos por parte del Consejo de Administración del Patrimonio Nacional.

En 1945, Ángel Oliveras Guart (1900-1990) fue nombrado Inspector Delegado del Servicio del Tesoro Artístico de Patrimonio Nacional, encomendándole “la restauración de casos urgentes y, a título gratuito, la limpieza y restauración de cuadros que lo necesitaban”^[21]. En pocos años, intervino en más de un centenar de obras^[22]. En 1949, Enrique Lafuente Ferrari, Director del citado Servicio, junto con el Consejero Delegado Gerente de la institución, Adolfo Vara del Rey, idearon la organización de un taller de restauración de pinturas, que funcionaría bajo la dirección de este servicio. Con fecha 7 de diciembre de 1949, Lafuente Ferrari presentó un informe-proyecto para la instalación del taller en el Palacio Real de Madrid, que quedó aprobado el 27 de enero de 1950, destinando una cantidad inicial de 50.000 pesetas anuales para atenciones de personal y material. El taller se instaló en una sala del lado occidental del edificio y tenía únicamente una ventana con luz al Campo del Moro. La plantilla se fue poco a poco configurando con jóvenes restauradores titulados en las Escuelas Superiores de Bellas Artes.

En febrero de 1950, fueron nombrados “Ayudantes de restauración de cuadros”, Alfredo Ramón Robledano (1922-2015) y José Ramón Alonso-Castrillo Aladrén (1930- doc.1959), con la gratificación mensual de 500 pesetas cada uno^[25]. A partir de entonces, alumnos de la cátedra de Restauración de la Escuela de Bellas Artes de San Fernando comenzaron a colaborar en trabajos de restauración de pinturas. Por ejemplo, de noviembre a junio de 1953, trabajaron en el Real Monasterio de El Escorial, Isabel Pernas Bujados, como ya se ha comentado, además de Francisco Garrido Sánchez (1912- doc.1963), Cecilia Juárez García (1918-doc.1987), Aureliano Moret García-Mauriño (1926- doc.1991), Blanca Mac-Mahón Ordoñán (doc. 1953-1955) e Irene Gracia Ara (doc.1953-1953). Según testimonio escrito de uno de los alumnos, entre 1953 y 1957 restauraron en el Real Monasterio de San Lorenzo de El Escorial las pinturas del Retablo del altar mayor de la Basílica, el lienzo del *Martirio de San Lorenzo* de Tiziano, además de otras pinturas de Pellegrino Tibaldi, Federico Zuccaro, Luis de Carvajal y Miguel Barroso, ocho trípticos del Claustro de las Procesiones y el *Milagro de San Fernando* de Lucas Jordán, entre otras pinturas.

En diciembre de 1954, cuando quedó vacante el cargo de ayudante que ocupó José Ramón Robledano, se propuso para sustituirle “a una de las cuatro señoritas que han trabajado en la restauración de pinturas en El Escorial. Estas cuatro restauradoras, han demostrado ser útiles, competentes técnicamente, formales y

cumplidoras asiduas en el trabajo”^[26]. En orden de preferencia de méritos Isabel Pernas fue la primera opción. Consecuencia de la nueva organización, que procuró la ampliación de la plantilla del taller de restauración de pinturas, se nombró con plaza en propiedad a José Ramón Alonso-Castrillo Aladrén e Isabel Pernas Bujados. Como Restaurador Jefe del Taller se nombró a Ángel Oliveras -hasta entonces Inspector Delegado del Servicio del Tesoro Artístico- y, en calidad de interinas, a Blanca Mac-Mahón Ordoñán y Cecilia Juárez García^[27]. El taller se fue consolidando durante la década de 1950, si bien Blanca Mac-Mahón, a los pocos meses de su nombramiento causó baja voluntaria, Cecilia Juárez García pasó en 1957 a ocupar el cargo en propiedad. Dos años más tarde, en 1959, se incorporaron Aureliano Moret García-Mauriño (1926- doc.1991) y Jose Antonio Menéndez-Morán Sampil (1923-2016)^[28] y en 1962, Manuel Calderón Martínez (1922-doc.1989) y Francisco Torrón Durán (1933-2020)^[29].

Durante la década de 1950 y los primeros años de la de 1960, el sistema de acceso a la plantilla de restauración de pinturas del Servicio del Tesoro Artístico de Patrimonio Nacional fue a través de nombramientos directos de candidatos que previamente habían sido constatados, y la elección se basó fundamentalmente en la destreza práctica demostrada en la restauración de pinturas, con el requisito indispensable de la titulación. El catedrático, académico y prestigioso historiador del Arte, Enrique Lafuente Ferrari, abogó por esta nueva generación de restauradores, alentándoles a que continuaran su formación en el extranjero donde aprenderían “los avances del conocimiento científico de la pintura y de los métodos auxiliares de la restauración empleado en los grandes museos del mundo” (Stout 1960: 8-16).

El interés de los restauradores españoles por conocer los avances de la disciplina y por formarse en los más prestigiosos talleres de restauración europeos, como el Istituto Centrale del Restauro de Roma y el Instituto Real de Patrimonio Artístico de Bruselas, contribuyó a que la profesión en España tomase un nuevo rumbo de modernidad. El taller de restauración de pinturas de Patrimonio Nacional facilitó la formación de sus jóvenes restauradores en el extranjero quienes retornaron con experiencias y aplicaciones punteras que pusieron en práctica por primera vez en este taller, como fue el uso de la lámpara ultravioleta como apoyo a la limpieza y eliminación de repintes. Probablemente esta nueva herramienta, les permitió confirmar la sospecha sobre el antiguo repinte en el *Caballo Blanco* de Velázquez [Figura 9] (“el Santiago y los moros que se añadieron, seguramente en el siglo XIX, “de menor calidad que el pujante caballo”)^[30], desencadenando la decisión de eliminarlo gracias a la lámpara de “luz negra” adquirida en 1956 a petición del Jefe del Taller de Restauraciones Artísticas, Ángel Oliveras Guart y el visto bueno del Consejero Delegado de Patrimonio Nacional, Francisco Iñiguez Almech^[31] [Figura 10].



Figura 9.- Figura 9. Antes y después de la eliminación de la figura de Santiago Matamoros del *Caballo Blanco* de Velázquez hacia 1957. Hoja oficial de lunes, Asociación de la prensa, *Crónica de Arte*, 12 de febrero de 1962, p. 18.



Figura 10.- Francisco Iñiguez Almech, Consejero de Bellas Artes de Patrimonio Nacional, observando atentamente el trabajo de los restauradores (Cecilia Juárez García, Isabel Pernas Bujados y Jose Ramón Alonso-Castrillo). Palacio Real de Madrid. Hacia 1955-57. Museo Nacional del Prado.

Isabel Pernas restauradora del taller del Servicio del Tesoro Artístico de Patrimonio Nacional

Isabel Pernas fue la primera mujer en formar parte del moderno taller de restauración de pinturas de Patrimonio Nacional. Tras realizar varias campañas de restauración en El Escorial, fue nombrada restauradora, con plaza en propiedad en el Servicio del Tesoro Artístico de la institución, el 22

de febrero de 1955^[32]. De los primeros encargos, destaca la restauración de las pinturas al fresco de Giambattista Tiepolo que adornan el techo del Salón de Alabarderos del Palacio Real de Madrid, donde cada Navidad se exhibe el extraordinario Belén napolitano.

En 1960, la Fundación Juan March le concedió una beca para viajar a Italia y disfrutar de una nueva estancia formativa en el Instituto del Restauro de Roma y en el taller de restauración del Museu Nacional de Arte Antiga de Lisboa. Pernas, destacó en la solicitud su interés por la restauración de tablas italianas y flamencas, sus distintos engatillados, limpieza, conservación de los soportes de madera frente a insectos xilófagos y los distintos barnizados. En cuanto a los lienzos le atraía especialmente el estudio de las diversas escuelas italianas, las forraciones y los barnizados^[33]. El Instituto del Restauro de Roma seguía siendo un lugar de referencia para los jóvenes restauradores y el Museo de Arte Antiga de Lisboa contaba con un adelantado taller de restauración, equipado con un laboratorio moderno con las condiciones idóneas para el análisis material de las obras de arte, llamado entonces "Instituto de Examen y Restauración de Obras de Arte" y conocido como Instituto José de Figueiredo. Los talleres de conservación y restauración y los laboratorios de fotografía, física y química estaban al servicio del Museu de Arte Antiga, los contactos internacionales en el marco de la UNESCO y el ICOM favorecieron el intercambio de experiencias, posicionando a los técnicos portugueses entre sus homólogos europeos (Seruya, Escobar y Amador 2000). Los cuatro meses que permaneció en Lisboa la joven

restauradora tuvo la oportunidad de conocer a João Couto (1892-1968), prestigioso historiador del arte y director del Museo Nacional, quien certificó de forma muy positiva su aprendizaje y los trabajos de restauración que le fueron encargados. José Ibáñez Martín, Embajador de España en Lisboa, certificó el acierto de las intervenciones de Pernas en quince lienzos de la Embajada^[34].

Los otros cinco meses los pasó en Italia, en el Istituto del Restauro de Roma, donde, por segunda vez, formó parte de los cursos del centro italiano^[35]. Esta vez, estudió con los profesores Paolo y Laura Mora (1923-2015), ya entonces con renombre internacional como expertos en la conservación y restauración de pinturas murales. Juntos desempeñaron un papel clave como investigadores y docentes en el establecimiento de tratamientos de restauración modernos.

Durante casi cuarenta años como restauradora en el taller del Palacio Real de Madrid, intervino en innumerables pinturas, tanto individualmente como en colaboración con sus compañeros (Cecilia Juárez, Jose Antonio Menéndez Morán Sampil, Jose Ramón Alonso-Castrillo Aladrén, Aureliano Moret García-Mauriño, Manuel Calderón Martínez y Francisco Torrón Durán). En reconocimiento a su labor restauradora en Patrimonio Nacional, con ocasión del IV centenario de la Fundación del Real Monasterio de San Lorenzo de El Escorial, en enero de 1964, recibió la condecoración de la Orden Imperial del Yugo y las Flechas (encomienda sencilla) y, en 1980, la de la Orden del Mérito Civil (Lazo de Dama). Finalmente, el 31 de octubre de 1989 causa baja por jubilación^[36].

Epílogo

La figura de Isabel Pernas Bujados, primera mujer nombrada restauradora del Servicio del Tesoro Artístico de Patrimonio Nacional, es un ejemplo de dedicación y excelencia en el campo de la restauración de pinturas.

Estudiante apasionada de las Bellas Artes, a pesar de los enormes esfuerzos económicos que supusieron para ella, nunca perdió la motivación para continuar su formación y perfeccionamiento de su faceta artística.

La figura del catedrático Francisco Núñez Losada, fue fundamental para que Isabel Pernas descubriese su vocación como restauradora donde destacó primero como excelente alumna en la Escuela de Bellas Artes de San Fernando y posteriormente completando una brillante carrera profesional durante casi cuatro décadas en el taller de restauración de pinturas de Patrimonio Nacional en el Palacio Real de Madrid.

Su inconformismo y deseo de aprendizaje continuo la llevaron a la solicitud de becas para estudios en el extranjero, que consiguió como consecuencia de su brillante currículum. Dichas estancias se realizaron principalmente en Roma y

Lisboa, recibiendo siempre el elogio y aprecio de los tutores que la tuvieron a su cargo. Otros compañeros también tuvieron la oportunidad de beneficiarse de este tipo de becas gracias al apoyo continuo que mostró la institución de Patrimonio Nacional.

Los logros y reconocimientos que obtuvo a lo largo de su carrera son testimonio de su excepcional contribución a la conservación y restauración de nuestro patrimonio histórico-artístico.

Isabel Pernas Bujados dejó una meritoria huella en la historia de la restauración en España. Su impronta, junto a la de otros compañeros restauradores, se conserva en las traseras de cuadros de la colección real, documentando las restauraciones realizadas durante la segunda década del siglo XX, pinturas expuestas hoy en los Reales Sitios y la Galería de las Colecciones Reales.

Que sus firmas permanezcan imborrables en los reversos de los cuadros de las colecciones reales, como testimonio del trabajo de los restauradores y la labor de la institución para la salvaguarda de su patrimonio artístico. Son parte de la Historia de la conservación y restauración de Bienes Culturales de nuestro país, de la que aún nos queda mucho por conocer.

Agradecimientos

Agradezco a Reyes Utrera, Ángel Balao, Jose Luis Sancho, Lourdes de Luis y Carmen García-Frías por atender mis consultas relativas a las fotografías históricas del taller de restauración del Servicio Artístico de Patrimonio Nacional. A Pablo Torrón Pelluz el envío de datos y fotografías de su abuelo, Francisco Torrón Durán, restaurador de Patrimonio Nacional. A Jacobo Banet, por la generosa donación que realizó al Museo del Prado de enseres de restauración y fotografías de su tía Isabel Pernas, con las que han sido posible documentar gráficamente esta investigación. A Mario Fernández Albarés por su mediación.

Notas

[1] Nos referiremos a ella como Isabel, así se la llamó en su entorno familiar y profesional. En este artículo se documenta la fecha de su nacimiento el 8 de julio de 1918 en base a los documentos localizados en su expediente académico (Nº. 1539) en el Archivo General de la Universidad Complutense de Madrid, en la documentación conservada en el Archivo Provincial de Lugo (sig.10342-4), en su expediente personal del Archivo General de la Administración de Alcalá de Henares (sig. 82/ 9941) y en el expediente conservado en el Archivo General de Palacio de Madrid (PER 16411) consultados entre 2021 y 2022. La edad que tendría en el momento de su fallecimiento, 27 de agosto de 2014, y que se anota en su esquelera publicada en ABC, no coincide con la que tendría en base a la documentación manejada por la autora.

[2] Se trata de un examen que se implantó en plena guerra civil como garantía de la calidad educativa del momento. Lugo, Archivo Diputación Provincial de Lugo (en adelante APDL), Beca de pintura de Julia Isabel Pernas Bujados. 1945. sig. 10.342: doc. 4 de mayo de 1941, certificación académica personal.

[3] Esta Escuela es denominada indistintamente en la documentación del momento como "Escuela Central de Pintura, Escultura y Grabado" y "Escuela Superior de Bellas Artes de San Fernando". El origen de la Escuela de Bellas Artes se remonta a mediados del siglo XVIII, llamada "Escuela de Nobles Artes de San Fernando", vinculada a la Real Academia de San Fernando. Tras la reforma educativa durante el reinado de Isabel II la Escuela y la Academia se separan. Con la Ley Moyano (R.D 7 de octubre de 1857) estos estudios pasaron a considerarse enseñanza superior, y desde entonces adquirió la categoría de "superior" y el título de "San Fernando", transmitido por la Real Academia a que debe su creación, tutelar suya hasta dicho año y en cuyo edificio se hallaba instalada. De 1871 a 1930 la escuela tuvo el apelativo de "especial" y sucesivamente tomó la denominación de escuela "superior" llamándose entonces Escuela Superior de Pintura, Escultura y Grabado o Escuela Superior de Bellas Artes de San Fernando como la costumbre popular la denominó, hasta que en 1970 la Ley General de Educación de 1970 convirtió las Escuelas Superiores de Bellas Artes en facultades. Con el R.D. de 14 de abril de 1978 la Escuela Superior de Bellas Artes de San Fernando se incorporó a la Universidad Complutense.

[4] APDL, Beca de pintura de Julia Isabel Pernas Bujados, *op. cit.*: docs. de 12 y 25 de junio y 7 de julio de 1942, carta de Isabel Pernas y certificados de Andrés Crespi, secretario General de la Escuela Central de Bellas Artes de San Fernando y Eugenio Hermoso, profesor de Dibujo clásico.

[5] APDL, Beca de pintura de Julia Isabel Pernas Bujados, *op. cit.*: doc. de 7 de octubre de 1942.

[6] APDL, Beca de pintura de Julia Isabel Pernas Bujados, *op. cit.*: docs. de 14 y 17 de julio de 1947.

[7] Madrid, Archivo General de la Administración, Alcalá de Henares, Madrid (en adelante AGA), expediente becas del Ministerio de Asuntos Exteriores 82/9941, exp. 80, Isabel Pernas Bujados: docs. 3 de junio y 27 de diciembre de 1953.

[8] Gracias a esta investigación se ha dado a conocer la autoría de las cuatro pinturas del retablo mayor de la Iglesia de Santa María la Mayor de Alcalá de Henares. Agradecemos al párroco D. Juan Miguel Prim su colaboración.

[9] Madrid, Archivo Museo Nacional del Prado, Madrid (en adelante AMNP), Libros de copistas L18 (1940-1948), L19 (1949-1950), L20 (1951-1952).

[10] *Baleares, Diario de la mañana*, Palma, miércoles 15 de diciembre de 1954: "Dos restauradoras en el Museo Diocesano".

[11] La restauración de esta relación de pinturas se ha podido documentar gracias a las fotografías en las que aparecen los

restauradores junto a las obras durante el proceso de restauración y que se conservan en el archivo fotográfico del Museo Nacional del Prado (donadas por Jacobo Banet) y algunas de ellas aquí publicadas. Analizadas y documentadas durante la elaboración de la tesis doctoral de la autora.

[12] Hoy Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro. https://es.wikipedia.org/wiki/Istituto_Superiore_per_la_Conservazione_ed_il_Restauro. Creado por el gobierno italiano en 1938, bajo la dirección de Cesare Brandi y Giulio Carlo Argan, convirtiéndose en la institución de referencia en materia de conservación y restauración de obras de arte. Sobre estancias de formación de restauradores españoles en la década de 1950 en el Istituto Centrale del Restauro de Roma véase García Cabarcos 2022.

[13] AGA, expediente becas del Ministerio de Asuntos Exteriores 82/9941, exp. 80, Isabel Pernas Bujados.

[14] Madrid, Archivo Biblioteca de la Facultad de Bellas Artes, Universidad Complutense de Madrid, trabajo de tesina para la convalidación del título de profesor de dibujo por el de Licenciado de Bellas Artes, 1984. La creación del taller de restauración del Servicio del Tesoro Artístico de Patrimonio Nacional se ubicó en el Palacio Real de Madrid, de ahí que Isabel Pernas se refiera a él como Patrimonio Nacional-Palacio Real de Madrid.

[15] Patrimonio Nacional es un organismo público español dedicado al cuidado y mantenimiento de los bienes históricamente vinculados a la Corona de España. Adscrito a la Presidencia del Gobierno. Durante el siglo XIX y hasta 1931 era conocido como Patrimonio de la Corona, antes de pasar a denominarse, durante la Segunda República, Patrimonio de la República.

[16] Madrid, Archivo General de Palacio (en adelante AGP), PER 1091, exp. 2. Sobre Francisco Vicente Longinos véase Martínez-Ojinaga 1992, 358-362.

[17] Sobre los trabajos de restauración de Adelaido Polo en el Real Monasterio de San Lorenzo de El Escorial véase Balao González 2010, 67

[18] AGP, PER 1225, exp. 24.

[19] AGP, PER 4430, exp. 22.

[20] *Ibidem*.

[21] Entendemos que la gratuidad de las restauraciones a que se refiere el documento sería debido a que su cargo de Inspector Delegado incluía restaurar únicamente en los casos urgentes. Véase AGP, caja 2306, exp.27 (doc. 7 de diciembre de 1949, "Informe-proyecto sobre el taller de restauración de pinturas de Patrimonio Nacional").

[22] *Ibidem* (doc. 27 de enero de 1950, "Relación de cuadros restaurados en el Taller del Tesoro Artístico").

[23] El 2 de noviembre de 1942 se le designó para desempeñar la Jefatura de los Servicios Históricos y de Bellas Artes del Patrimonio. A partir de 1944, el Consejo de Administración acordó en la sesión celebrada el día 20 de noviembre denominar a este servicio "Tesoro Artístico del Patrimonio Nacional y sus servicios", véase AGP, PER 6317, exp. 20.

[24] AGP, caja 2728, exp. 8 (doc. 3 de octubre de 1951).

[25] AGP, caja 2778, exp. 8 (doc. 4 de febrero de 1950).

[26] AGP, PER 587, exp.21, expediente personal de Blanca Mac-Mahón (doc. 29 de diciembre de 1954).

[27] Ibidem (expediente de Blanca Mac-Mahón) y PER, 16404, exp.4 (expediente personal de Cecilia Juárez García).

[28] AGP, PER 220, exp. 5 (expediente personal de Aureliano Moret García-Mauriño) y AGP, PER 228, exp. 6 (expediente personal de Jose Antonio Menéndez-Morán Sampil).

[29] AGP, PER 16416, exp. 16 (expediente personal de Manuel Calderón Martínez).

[30] *Hoja oficial de lunes, Asociación de la prensa, Crónica de Arte*, 12 de febrero de 1962, 18.

[31] AGP, caja 2742, exp. 19

[32] AGP, PER 16411, exp. 3, expediente personal de Isabel Pernas Bujados.

[33] Madrid, Archivo Fundación Juan March (en adelante AFJM), Expediente administrativo de Isabel Pernas Bujados, Beca concedida por la FJM, Sección de Artes Plásticas, 1960.

[34] *Ibidem*.

[35] Permiso sin empleo y sueldo que disfrutó del 9 de enero al 2 de noviembre de 1961.

[36] AGP, PER 16411, exp. 3, expediente personal de Isabel Pernas Bujados.

Referencias:

BALAO GONZÁLEZ, A. (2010). "La restauración de las decoraciones de la Basílica del Real Monasterio de San Lorenzo de El Escorial", *La Basílica del Real Monasterio de San Lorenzo de El Escorial, Cuadernos de restauración de Iberdrola*, XIV, 61-73.

BALAO GONZÁLEZ, A. (2010). "Cincuenta años de restauración de obras de arte en Patrimonio Nacional", *Reales Sitios: Revista del Patrimonio Nacional*, 200: 136-153.

GARCÍA CABARCOS, M.^a C. (2021). *Historia de la restauración en el Museo Nacional del Prado*, Madrid, Museo Nacional de Prado, (Colección Bicentenario, II).

GARCÍA CABARCOS, M. C. (2022). Las estancias de formación de restauradores españoles en el Istituto Centrale del Restauro de Roma (1958-1960), *Ge-conservación*, 21 (1): 141-151. <https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1050>

GARCÍA CABARCOS, M. C. (2023). *La Junta de Conservación de Obras de Arte (1920-1961). Servicio de conservación y restauración del Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes adscrito al Museo Nacional del Prado*, Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid.

LAGE-SEARA, A. (2022). "Bujados, pintor de sueños, el Gustav Klimt gallego", *Mundiario* de 13 de febrero de 2022. <https://www.mundiario.com/articulo/cultura/bujados-pintor-suenos-gustav-klimt-gallego/20220213193003236187.html>.

MACARRÓN MIGUEL, A. M.. y GONZÁLEZ MOZO, A. (1998). *La conservación y la restauración en el siglo XX*. Madrid: Tecnos, 1998.

MARTÍNEZ LEIVA, G. (2011). "La labor restauradora en los talleres de pintura y escultura. Del final de la monarquía de Carlos III y el comienzo del gobierno de Carlos IV", *Actas de las Jornadas de Arte e Iconografía sobre Carlos IV y el arte de su reinado: celebradas del 6 al 8 de abril de 2011*, coord. por Alfonso Rodríguez G. de Ceballos, Ángel Rodríguez Rebollo.

MARTÍNEZ OJINAGA, R. (1992). *Historia de la conservación y restauración de la pintura al óleo del monasterio de San Lorenzo de El Escorial hasta el año de 1936*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid.

PULIDO, R. (1911). "Notas de arte", *El Globo, diario liberal de la tarde*, Año XXXVII, 12.468 (27):1.

QUIROGA FIGUEROA, M. (2023). "Las artistas pensionadas por la Diputación de Lugo: Maruja Mallo, Julia Minguiñón Iglesias, Isabel Pernas Bujados", *Lucensia: miscelánea de cultura e investigación*, 34(67):117-135.

RUIZ DE LACANAL RUIZ MATEOS, M. D. (1994). *Conservadores y restauradores en la Historia de la Conservación y Restauración de Bienes Culturales*. Sevilla.

SERUYA I., ESCOBAR N., AMADOR J. M. (2000). "El papel del Instituto José de Figueiredo (IJF) en la formación, investigación, conservación y restauración del patrimonio cultural", *RdM, Revista de Museología: publicación científica al servicio de la comunidad museológica*, 1: 162-167.

STOUT G. (1960). *Restauración y conservación de pinturas*, Madrid, Tecnos.

VICENTE RABANAQUE, M. T. (2010). "Los concursos por oposición en la primera mitad del siglo XX". *Historia de la restauración. Del clásico estudio del objeto al sujeto como objeto de estudio*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 387-398. <https://produccioncientifica.ucm.es/documentos/5eb09d1e2999527641125283>

Autor/es**Maria Concepción García Cabarcos**cabarcos3@hotmail.com

Restauradora autónoma

<https://orcid.org/0000-0001-9108-6564>

Doctora en Historia del Arte (UCM) y Conservadora-Restauradora de Bienes Culturales con la especialidad de pintura (ESCRBCM). Tiene una extensa formación académica universitaria y una sólida trayectoria en conservación y restauración de patrimonio artístico. Ha trabajado en prestigiosas instituciones museísticas como el Museo Nacional del Prado y el Museo Nacional Thyssen-Bornemisza. Ha desarrollado trabajos de documentación e investigación en proyectos dentro del Museo Nacional del Prado y ha impartido seminarios en la Escuela del Prado (2017): "Los trasposos de tabla a lienzo en la historia y documentación de los talleres de restauración del Real Museo y Museo Nacional" y en la Cátedra 2017: "El Taller de restauración de pintura del Museo del Prado (1819-1920): historia y documentación". Es autora de varios artículos sobre historia de la restauración en España (s. XIX y XX) y del libro *Historia de la restauración en el Museo del Prado* (2021). En su tesis doctoral ahonda en la creación y actividad de la *Junta de Conservación de Obras de Arte* (1920-1961), primer servicio estatal de conservación y restauración de bienes muebles en España. Ha desarrollado habilidades relacionadas con aplicaciones informáticas para la gestión de documentación histórica, informes de conservación y restauración, catalogación e inventariado y en técnicas avanzadas de análisis. Su experiencia incluye la coordinación de proyectos de conservación en diversas comunidades autónomas y en técnicas de radiografiado de bienes culturales en la Comunidad de Madrid. Comprometida con la preservación del patrimonio histórico, artístico y cultural y la Historia de la conservación y restauración.

Artículo enviado 02/05/2025
Artículo aceptado el 06/11/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1394>

La cámara funeraria de Useramón: trabajos de restauración y conservación efectuados entre 2021 y 2025 en un monumento egipcio antiguo

Ignacio Bermeja Gigorro, Lucía Díaz-Iglesias Llanos

Resumen: Presentación de las intervenciones realizadas para restaurar y conservar la cámara funeraria asociada a la tumba del Visir Useramón (TT 61), datada en la primera mitad de la Dinastía XVIII (ca. 1470-1450 a.e.). El espacio arquitectónico subterráneo presentaba un estado de conservación muy deficiente debido a daños de carácter antrópico (incendios, robos), que no han arruinado completamente la decoración pictórica de las paredes gracias a las condiciones microclimáticas de estabilidad y de sequedad del espacio y a la buena técnica de ejecución aplicada en la preparación de los muros. Las intervenciones han logrado estabilizar la situación aplicando el criterio de mínima intervención, garantizando la preservación de la cámara sin adulterar la historia material del bien, así como implementar medidas de conservación preventiva.

Palabras clave: antiguo Egipto, conservación, mortero, yeso, mínima intervención, limpieza de hollín, pintura mural, cola animal

The burial chamber Useramun: restoration and conservation works executed between 2021 and 2025 in an ancient Egyptian monument

Abstract: Presentation of the interventions done to restore and preserve the burial chamber of the tomb of the Vizier Useramun (TT 61), dating to the first half of the 18th Dynasty (ca. 1470-1450 BCE). The underground architectural space was found to be in a very poor state of conservation due to anthropic damage (fires, theft), which had not completely ruined the pictorial decoration of the walls thanks to the stable and dry microclimatic conditions of the space and to the good technique used in the preparation of the walls. The interventions have succeeded in stabilizing the situation by applying the principle of minimal intervention, ensuring the preservation of the chamber without altering the material history of the monument, as well as in implementing preventive conservation measures.

Keywords: ancient Egypt, conservation, mortar, plaster, minimum intervention, soot cleaning, wall painting, animal glue

A câmara funerária de Useramón: trabalhos de conservação e restauro efetuados entre 2021 e 2025 num monumento egípcio antigo

Resumo: Apresentação das intervenções realizadas para conservar e restaurar a câmara funerária associada à tumba do Visi Useramón (TT 61), datada da primeira metade da Dinastia XVIII (cerca de 1470-1450 a.e.). O espaço arquitetónico subterrâneo apresentava um estado de conservação muito deficiente devido a danos de origem antrópica (incêndios, roubos), que não destruíram completamente a decoração pictórica das paredes graças às condições microclimáticas estáveis e secas do espaço e à boa técnica aplicada na preparação dos muros. As intervenções conseguiram estabilizar a situação aplicando o critério da intervenção mínima, garantindo a preservação da câmara sem adulterar a história material do bem, assim como implementar medidas de conservação preventiva.

Palavras-chave: antigo Egito, conservação, argamassa, estuque, intervenção mínima, limpeza de fuligem, pintura mural, cola animal

El marco de los trabajos efectuados: la cámara funeraria de Useramón y el proyecto Escribas del Reino Nuevo

La investigación en cultura de los escribas en el antiguo Egipto, realizada con vistas a profundizar en el conocimiento sobre las formas de trabajo, la educación y las idiosincrasias individuales de los escribas que vivieron a mediados del s. XV a.e., es uno de los focos del proyecto “Escribas del Reino Nuevo”, también llamado “Proyecto de documentación y conservación de cámaras funerarias en Luxor”. Situado bajo el paraguas científico de varios proyectos de I+D financiados por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades^[1], desarrolla campañas de trabajo de campo en Egipto de 2 a 6 semanas de duración desde 2019 en cooperación con el Ministerio Egipcio de Turismo y Antigüedades.

El trabajo a lo largo de estos seis años (2019-2025) ha sido ejecutado por un equipo interdisciplinar en el que se integran arqueólogos, epigrafistas, restauradores, químicos y geólogos, en un esfuerzo combinado por documentar de forma exhaustiva y preservar un conjunto de monumentos únicos: las cámaras funerarias decoradas con amplios programas textuales e iconográficos pertenecientes a miembros de la más alta élite y de un grupo dirigente intermedio de la antigua Tebas en la primera mitad de la Dinastía XVIII (primera mitad del s. XV a.e.). Hasta la fecha, los trabajos se han centrado en las partes subterráneas –pozos, pasillos y cámaras funerarias– de las tumbas pertenecientes al Visir Useramón (TT 61) y al Supervisor del Doble Granero Nakhtmin (TT 87), ya conocidas desde inicios del s. XX y publicadas a finales de ese siglo^[2]. Sin embargo, los nuevos planteamientos teóricos en el estudio de las culturas manuscritas antiguas de las últimas dos décadas, llegados de la mano de la Filología Material, unidos a recientes avances metodológicos para el registro y análisis de documentos y monumentos, permiten volver la vista sobre monumentos ya conocidos. Se pretende así obtener nuevas respuestas para responder a interrogantes históricos ligados a cuestiones muy debatidas dentro de la Egiptología, tales como las formas de transmisión de textos e imágenes funerarios, los procesos de decoración de tumbas y la formación de los escribas en el Egipto antiguo. Sobre el terreno, el equipo español y egipcio del proyecto “Escribas del Reino Nuevo” realiza tareas que comprenden: la limpieza de las estructuras subterráneas, terminando trabajos arqueológicos iniciados hace más de un siglo por los equipos de ingleses y alemanes que nos precedieron; la documentación exhaustiva de pozos, pasillos y cámaras funerarias a través de técnicas digitales punteras, antes, durante y después de acometidas las distintas tareas de limpieza; la aplicación de medidas de conservación y restauración; el estudio epigráfico de las superficies decoradas con composiciones textuales e iconográficas sobre el Más Allá; la aplicación de técnicas arqueométricas para mejorar nuestro conocimiento sobre la tecnología de la escritura antigua mediante el estudio de las tintas y pigmentos con los que se trazaron los textos y se dibujaron las imágenes^[3].

En este artículo se expondrán las tareas de restauración y conservación llevadas a cabo en la cámara funeraria del Visir Useramón (TT 61) durante las campañas de 2021 a 2025, que han sido efectuadas a la par que las de la cámara contemporánea de Nakhtmin, ya publicadas (Bermeja Gígorro en prensa). La importancia de estos trabajos en la TT 61 radica en el hecho de que en el momento del descubrimiento y posterior estudio de este espacio no se acometió ninguna medida encaminada a su preservación. Además, el examen de la técnica de ejecución ha permitido avanzar la investigación epigráfica que busca, entre otras cosas, aproximarse a los procedimientos de trabajo de los copistas egipcios antiguos.

El propietario de este monumento nació durante el reinado de Ahmose o de Amenhotep I (ca. 1525 a.e.), empezó su carrera como escriba en el dominio de Amón en Karnak, el principal complejo religioso del momento, y alcanzó el cargo de Visir durante el inicio de los reinados de Hatshepsut y Thutmosis III, sucediendo a su padre Aametju en el puesto más alto de la administración central y del sistema judicial de Egipto desde el Reino Antiguo. Como otros Visires, Useramón también fue Alcalde de Tebas y mantuvo sus cargos hasta algún momento entre los años 28 y 34 del reinado de Thutmosis III. A la cabeza de la jerarquía socio-económica del país por detrás del monarca, y seguramente encargado de la supervisión de la construcción de la tumba del propio rey, el Visir Useramón dispuso de una ingente cantidad de recursos materiales y humanos para proveerse de un lugar en el Más Allá, lo que se plasma en la cuidadosa técnica de ejecución de su cámara funeraria (véase el apartado: Técnica de ejecución).

Resulta notorio que Useramón se hiciera construir dos tumbas en la zona de la necrópolis de la antigua Tebas (hoy Luxor) conocida con el nombre de Sheikh Abd el-Qurna, hecho muy poco usual y que se relaciona con su posición privilegiada y su cercanía con el monarca. Mientras que una de las tumbas (TT 131) actuaba como capilla, la segunda (TT 61), en realidad un monumento reutilizado del Reino Medio (500 años anterior a la época en la que vivió Useramón), servía como lugar de enterramiento. Para este fin, Useramón se hizo excavar en el patio, a la altura de la fachada, un pozo de unos 14 metros de profundidad que, a través de un pasaje descendente de 15 metros de longitud, daba acceso a una cámara de reducidas dimensiones (4 x 3,60 m, 1,60-1,80 m de alto) [Figuras 1 y 2]. Otro hecho singular de la tumba TT 61 es que se trata del único monumento privado del Reino Nuevo que recurre para su decoración a textos cosmográficos que en ese momento eran de uso exclusivo de la realeza. Específicamente, Useramón escoge las mismas composiciones que son empleadas por el monarca reinante, Thutmosis III, en su tumba del Valle de los Reyes (KV 34): los conocidos como la *Letanía de Re* –o Libro de adorar a Re en el Oeste, centrado en la adoración de las formas que puede adoptar el dios sol– y el *Amduat* –o Libro de la cámara oculta, que refleja el viaje de la barca del dios sol por las horas de la noche, durante el cual atraviesa distintas regiones y se encuentra con multitud de criaturas.

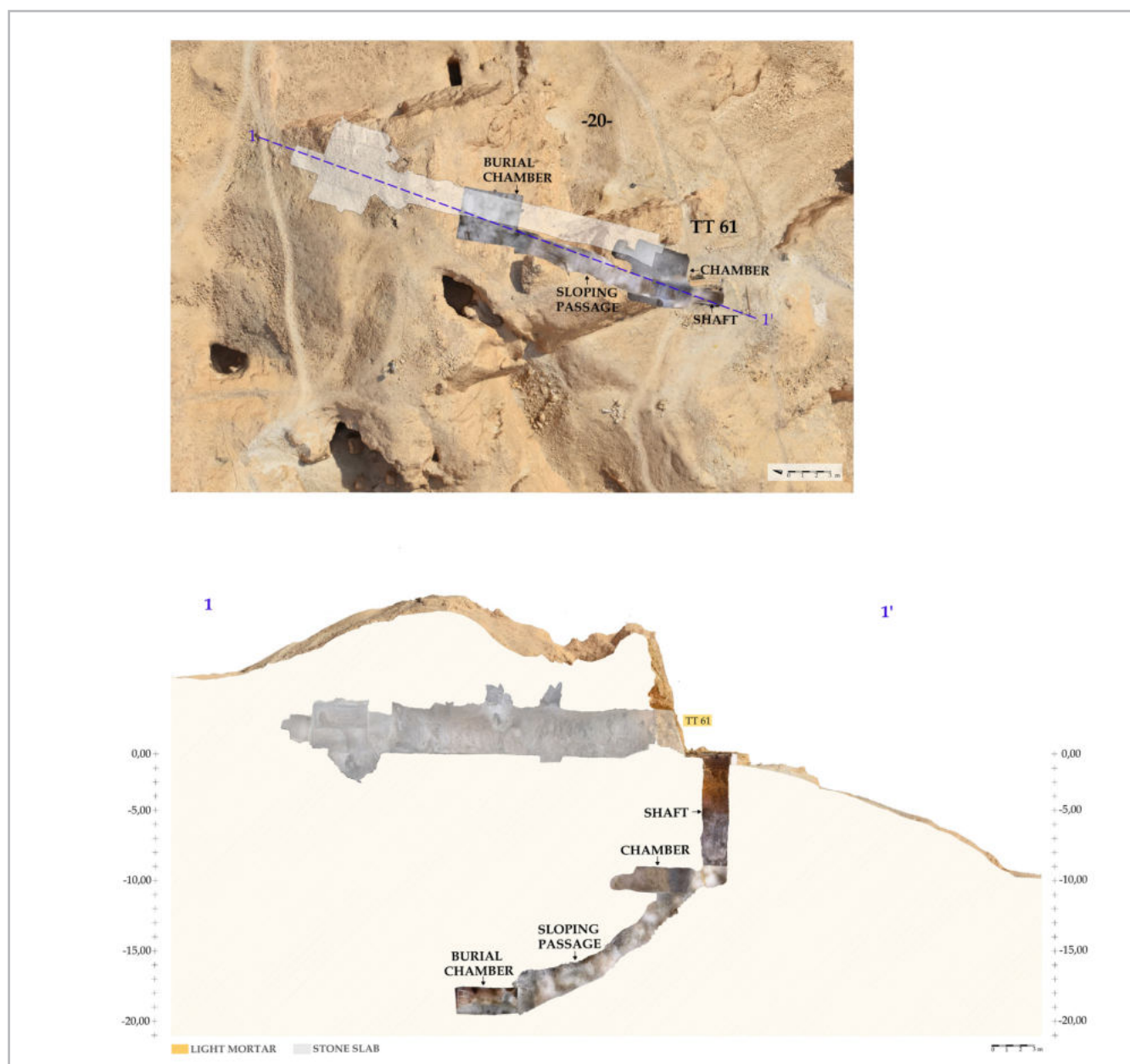


Figura 1. Planta y sección de la TT 61. El área de ejecución de las tareas es la etiquetada como “burial chamber”. © Proyecto Escribas del Reino Nuevo/A. Gómez.

El descubrimiento de la cámara funeraria de Useramón se produjo a inicios del s. XX por Sir Robert Mond, un filántropo y químico inglés que publicó un breve informe sobre sus actividades y hallazgos (Mond 1905: 73, fig. 7, lám. III). En realidad, la parte subterránea de la tumba debió haber sido visitada con anterioridad por expoliadores, lo que explica la aparición de objetos propios del enterramiento de Useramón en museos europeos ya a finales del s. XIX (Régen 2002). Parece que en 1903-4 Mond se limitó a abrir un acceso a la cámara funeraria y la fotografía publicada por él indica que las paredes de este espacio arquitectónico ya habían sufrido daños a causa de incendios (véase el apartado: Estado de conservación). Después, la cámara de Useramón cayó en el olvido hasta que se iniciaron las campañas epigráficas del egiptólogo suizo Erik Hornung, encaminadas al análisis de su

decoración en los años 60 del siglo pasado (Hornung 1961) y a la copia de sus textos en etapas sucesivas durante las décadas de 1960 a 1980). Las publicaciones de Hornung dan cuenta de otro de los grandes problemas que han afectado a la decoración de este espacio: los robos e intentos de saqueo de las superficies decoradas (véase el apartado: Estado de conservación). En concreto, entre el otoño de 1971 y febrero de 1974, el tiempo que media entre dos campañas de trabajo del equipo suizo, debió de producirse la destrucción de la mitad superior de la pared oriental (Hornung, en Dziobek 1994: 43). En 2019, cuando el proyecto “Escribas del Reino Nuevo” inició sus trabajos, pudimos comprobar el efecto de estos saqueos, dado que encontramos cientos de fragmentos de la decoración caídos en la parte baja de las paredes (véase el apartado: Consolidación del soporte y reposición de fragmentos).

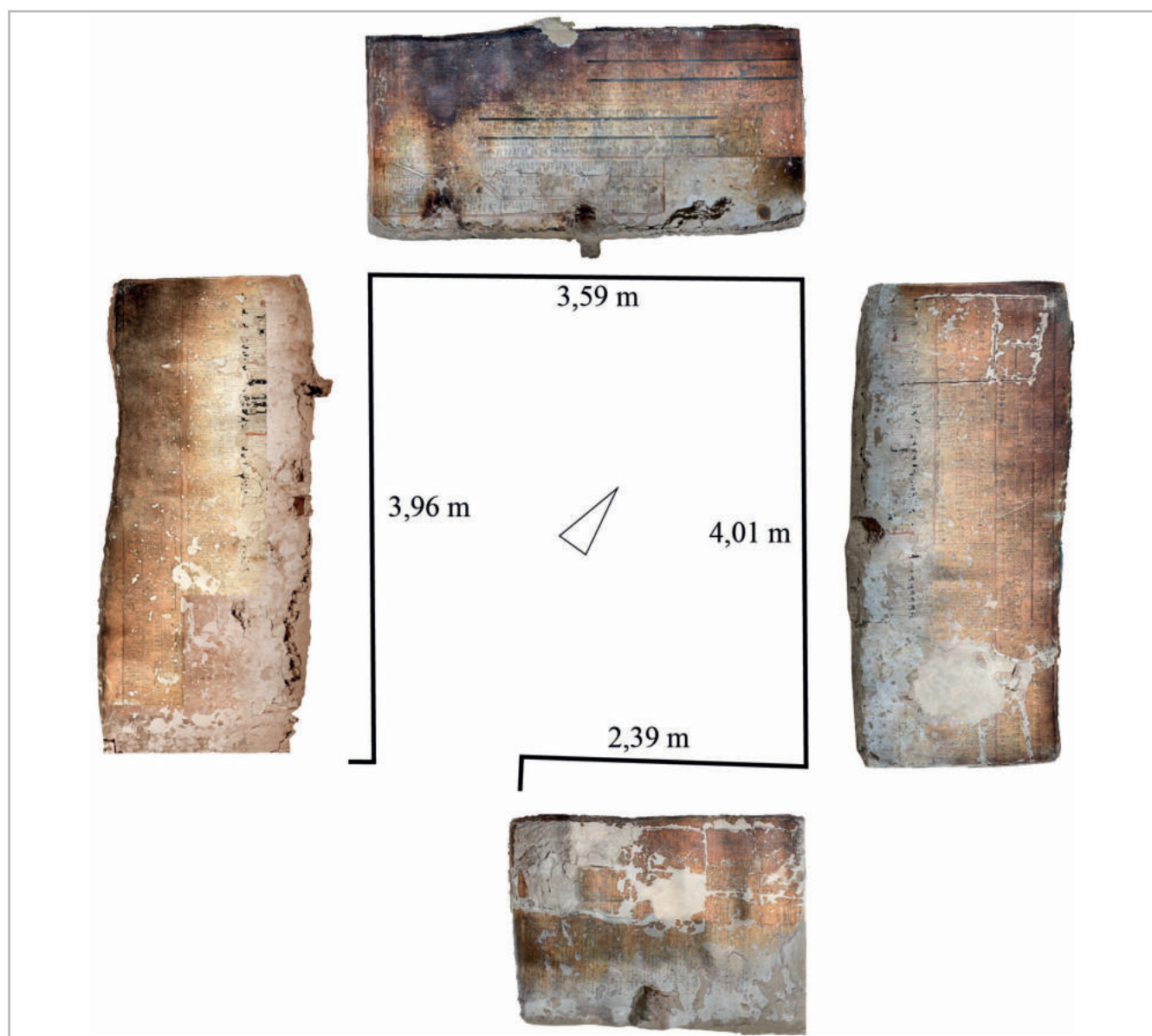


Figura 2.- Planta de la cámara funeraria y ortofotografías de las paredes. © Proyecto Escribas del Reino Nuevo/A. Gómez.

Técnica de ejecución

El trabajo interdisciplinar y la discusión de resultados entre los miembros del equipo ha hecho posible obtener una visión bastante ajustada sobre la realidad material de la cámara de Useramón (TT 61) con vistas a su restauración. Conocer la técnica empleada permite imaginar cómo se organizaron las personas que aquí trabajaron y, por tanto, cómo fue la labor de los artesanos y escribas que decoraron las paredes hace 3.500 años.

Además de exámenes organolépticos y pruebas de solubilidad, para la identificación de materiales se han realizado estudios no destructivos mediante equipos de espectroscopia infrarroja difusa por transformada de Fourier (DRIFTS) y espectroscopía RAMAN cuyos resultados se recogen aquí de forma sucinta [Figura 3 y 6]^[5]. El conglomerante utilizado en las pastas con las que se ha preparado el muro es yeso.

Para los trazos negros se ha utilizado carbón vegetal y para los rojos óxido de hierro. En ambos casos, se han añadido pequeñas cantidades variables de yeso y calcita como cargas, aunque en el caso del rojo esa calcita puede provenir también de la materia prima utilizada en la elaboración del pigmento. El fondo blanco se compone igualmente de yeso y calcita. El aglutinante utilizado en los signos, figuras y fondos es de tipo proteínico con pequeñas cantidades de grasa. Esta misma sustancia se habría aplicado en alguna posible capa de imprimación, de protección o ambas, sobre las que luego se volverá. La degradación de los materiales no permite conocer el origen del aglutinante, aunque es probable que se trate de cola animal por paralelos contemporáneos a TT 61. Tampoco puede determinarse por el momento si la grasa detectada es un aditivo añadido a la mezcla, o si se trata de restos grasos provenientes del procesado de los despojos de animales a partir de los que se obtuvo la cola.

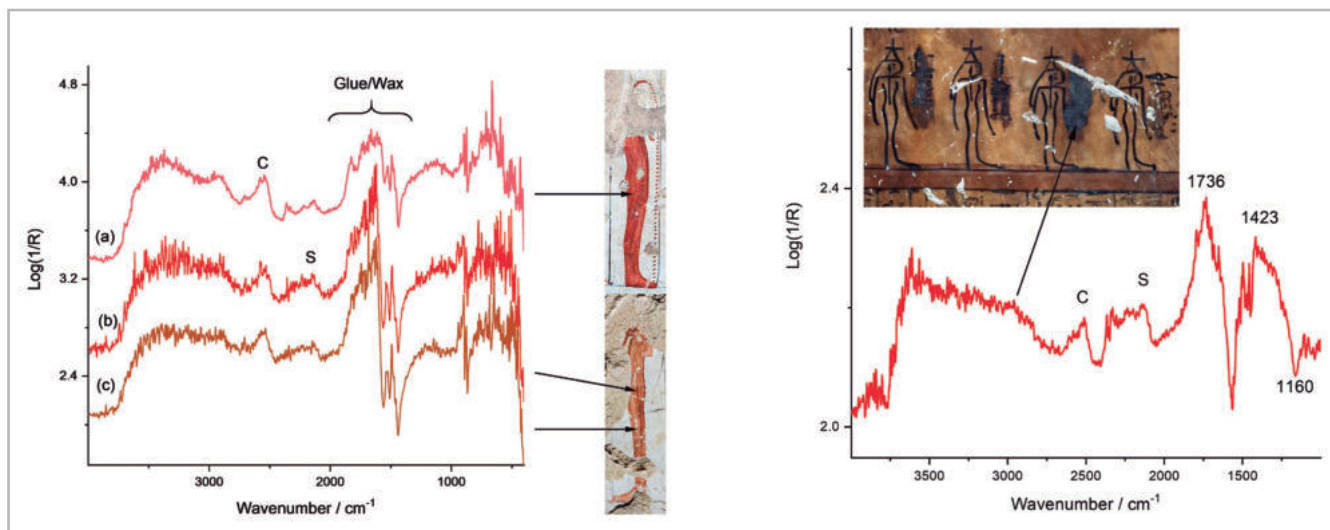


Figura 3.- Izq.: espectros DRIFT registrados en diferentes puntos de las figuras rojas que acompañan a la *Letanía de Re*. Hay presencia de yeso (S), calcita (C) y aglutinantes orgánicos (cola y aceite/cera). Dcha.: espectros DRIFT registrados en una sección del *Amduat* de la pared oriental que indican la presencia de yeso (S), calcita (C) y aglutinantes orgánicos (cola y aceite/cera). © Proyecto Escribas del Reino Nuevo/S. Sánchez-Cortés, S. Martínez Ramírez y D.M. Méndez-Rodríguez.

Respecto a la ejecución técnica de la cámara funeraria, una vez excavado el lecho rocoso de caliza tanto las paredes como el techo presentarían una superficie irregular, llena de grietas, huecos y protuberancias, no apta para recibir la cuidada decoración que vemos hoy. El aspecto actual del espacio arquitectónico es el resultado de aplicar pastas y morteros en varias capas que cubren completamente los paramentos, generando una sólida estructura que se apoya directamente en el suelo [Figura 4]. El techo presenta un tratamiento más descuidado. Las partes desprendidas de la preparación del muro permiten comprobar cómo se han usado piedras más bien pequeñas, planas y de tamaño regular en el relleno, lo que remite a un trabajo cuidadoso que tiene en cuenta el buen comportamiento a largo plazo de los materiales escogidos. Una estructura de piedras pequeñas genera un entramado complejo y una distribución de las cargas que evita, en buena medida, que se desprenda el revestimiento en el futuro. Respecto a los morteros empleados, se distinguen dos tipos. En las zonas más profundas se ha usado yeso blanco con alguna carga de arena de granulometría media, además de paja troceada. Con este material y con las piedras se han rellenado las fisuras naturales del lecho calizo. El recurso de la paja aligera el peso del mortero en esta capa, aspecto importante si se considera que, en ocasiones, se requieren espesores considerables para rellenar todo el hueco. La siguiente pasta aplicada parece compuesta de yeso y una carga de granulometría más fina que en la anterior, con un espesor más homogéneo (de entre 1 y 2 centímetros). Fue aplicada con algún tipo de herramienta tipo fratás (de madera probablemente) cuyo tamaño no se ha podido determinar. La función de esta capa es también estructural pero tiene, además, una intención estética ya que el objetivo es aquí conseguir un acabado plano o, cuando menos, continuo. Respecto a la última capa aplicada, o enlucido, se trata de un yeso de molienda mucho más fina, trabajado con cuidado y con un espesor de entre

1 y 2 milímetros. La pasta ha sido alisada a conciencia con el fratás y apenas se perciben zonas rugosas, incluso cuando la superficie es examinada con luz rasante.

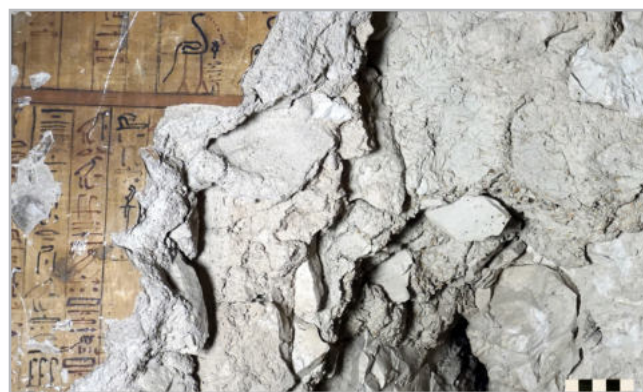


Figura 4.- Sucesión de capas de preparación en el desprendimiento de la pared norte. Al fondo, se aprecia el lecho rocoso y aplicaciones de piedra y mortero de yeso cargado con paja y arena. A continuación, el mismo yeso sin paja y, debajo de la pintura, el enlucido final a base de yeso sin cargar. © Proyecto Escribas del Reino Nuevo/I. Bermeja.

Una vez enlucidas las paredes, se aplicó una capa de temple de color blanco a base de calcita y yeso. En la zona inferior de la pared este se perciben salpicaduras blancas sobre el yeso a medio cubrir [Figura 5]. Podemos elucubrar sobre el motivo que hizo que esta zona inferior quedase sin cubrir completamente de pintura blanca, algo que llama la atención en una cámara funeraria en la que se observan unos acabados esmerados. Puede ser porque el trabajo tuvo algo de apresurado, por la disponibilidad de producto o porque se trate de una convención de este tipo de pinturas, de modo que el color blanco se aplique únicamente en las zonas donde se sabe que se van a trazar luego jeroglíficos y no en la totalidad de la pared.



Figura 5.- Salpicaduras de temple blanco dejadas al aplicar la pintura sobre el yeso del enlucido en la pared este. © Proyecto Escribas del Reino Nuevo/I. Bermeja.

Sobre la capa blanca se aplicaron el resto de estratos pictóricos. Líneas, signos de escritura y viñetas se han trazado basándose en un cuidadoso replanteo previo y los signos resultan precisos y delicados, usándose pinceles de tamaños muy reducidos (algunos trazos tienen menos de 1 mm). Como se ha comentado más arriba, en el caso de los signos jeroglíficos, el pigmento negro es carbón y el rojo óxido de hierro. También hay dos tipos de franjas distintas, ambas de poco más de un centímetro de ancho, unas azules y otras rosas, que representan al agua y a la tierra respectivamente. No se ha podido determinar ni la técnica de ejecución ni la composición de estas bandas, solo se ha podido observar que la tonalidad de las rosas parece distinta de la que daría el rojo óxido de hierro de los textos si lo mezclásemos con blanco. Para los detalles oscuros de la *Letanía de Re*, correspondientes a las pelucas de las figuras divinas, y a veces a sus cuerpos, se usó una sustancia negra, densa, brillante, de aspecto similar al betún, aplicada probablemente en caliente, formando un grueso estrato que no se ajusta perfectamente a las formas del dibujo, lo que indica que se trataba de una pasta densa y difícil de trabajar. Las bandas identificadas en los espectros DRIFT en esta sustancia indican que se trata resinas de origen vegetal o alquitrán [Figura 6].

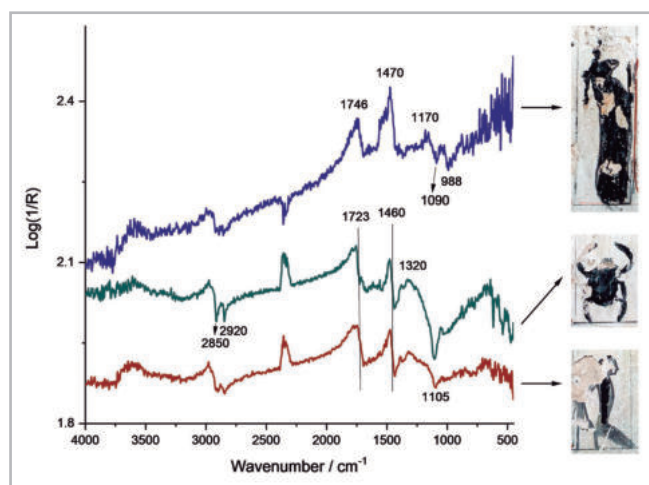


Figura 6.- Espectros FTIR de las zonas negras correspondientes a varias figuras de la *Letanía de Re* recubiertas con resinas vegetales. © Proyecto Escribas del Reino Nuevo/S. Sánchez-Cortés, S. Martínez Ramírez y D.M. Méndez-Rodríguez.

Por último, se aprecia también algún tipo de recubrimiento (muy visible en las zonas en las que se ha oxidado, evidenciado por las marcas de los brochazos amarillos sobre el fondo blanco) que en ocasiones parece estar debajo de los signos y en ocasiones encima. Podría tratarse de una imprimación del muro previa al trazado de los jeroglíficos, de una protección posterior a modo de barniz o incluso de ambas [Figura 7]. En cualquier caso, no se ha podido establecer si esta capa fue aplicada antes de trazar los signos, a modo de imprimación del soporte que redujera la absorción del muro y facilitara la labor de los escribas, o si fue aplicada una vez acabado el trabajo como capa de protección final. También cabe la posibilidad de que se trate de un estrato aplicado en alguna intervención antigua posterior a la creación de la decoración.

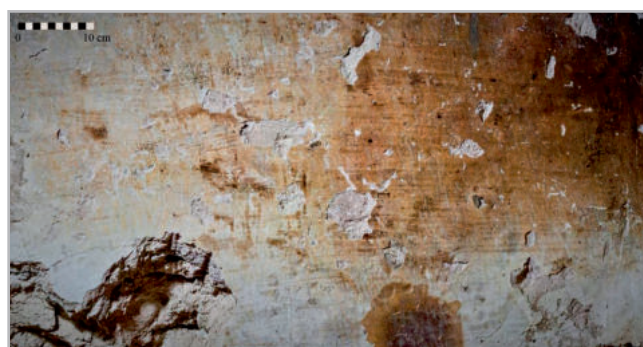


Figura 7.- Marcas oxidadas de la brocha con la que se aplicó la capa de imprimación o de barniz. © Proyecto Escribas del Reino Nuevo/I. Bermeja.

Estado de conservación

Las condiciones de sequedad ambiental y poca variabilidad climática de la necrópolis tebana son factores que contribuyen, en general, a la preservación de los materiales aquí depositados a lo largo del tiempo. En el caso de la cámara funeraria de Useramón se dan, además, las circunstancias de ser tanto un lugar subterráneo y, por lo tanto, particularmente aislado, como de estar ubicado en la parte alta de la montaña en la zona de Sheikh Abd el-Qurna. Esto último ha mantenido esta cámara a salvo del efecto de lluvias torrenciales que se dan de forma puntual en Egipto y que afectan a los *wadis* por donde discurren agua y barro que luego se acumulan en las depresiones del terreno. El uso de materiales de calidad y la buena técnica de ejecución en la preparación de los muros de la cámara del Visir (véase el apartado: Técnica de ejecución) son factores que también han contribuido a la conservación de las pinturas y que están relacionados con el estatus del difunto y los recursos económicos destinados a la construcción de su tumba. En otras tumbas de la época, pero de individuos de menor rango, lo común es que las capas interiores de la preparación del muro se realicen con *muna*, una pasta de barro y paja de menor resistencia mecánica y más económica que el yeso que encontramos aquí (Madden y Tavner 2018: 122); yeso para cuya obtención es necesario calcinar la materia prima, piedra de yeso o aljez, siendo este un proceso que encarece

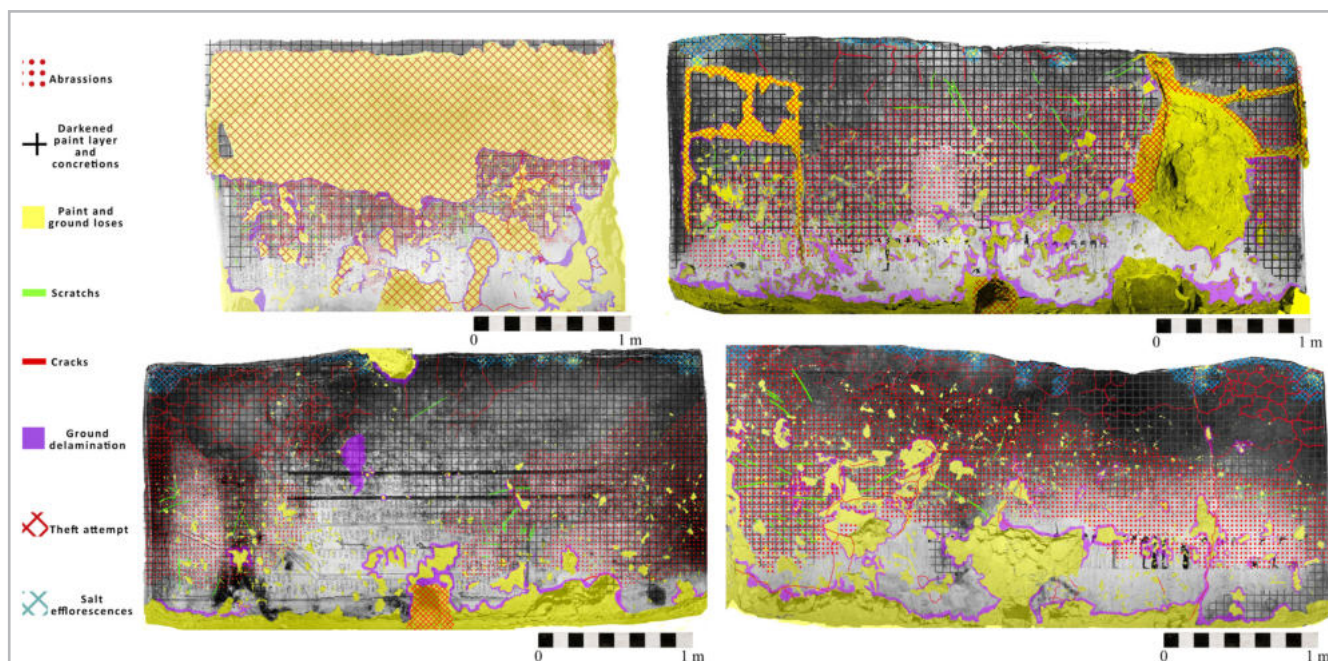


Figura 8.– Croquis de alteraciones del soporte, de arriba a abajo y de izquierda a derecha: paredes este, norte, oeste y sur. © Proyecto Escribas del Reino Nuevo/C. Ruiz e I. Bermeja.

el producto final. Todas estas circunstancias explican que sólo haya dos desprendimientos que podemos considerar antiguos y que probablemente tengan su origen en algún tipo de movimiento natural del terreno, uno de ellos en la pared norte y otro, más pequeño, en el encuentro del muro y el techo en la pared oeste.

Por tanto, el deterioro de la cámara de la TT 61 es fundamentalmente de tipo antrópico y, probablemente, está relacionado con la acción de los expoliadores [Figura 8]. A consecuencia de la oxidación y la temperatura provocadas por los fuegos prendidos en el interior de la cámara, cuya datación y causas son difíciles de precisar, se ha alterado de forma irreversible la tonalidad blanca original del fondo sobre el que se trazaron los textos e imágenes. En las capas de imprimación o protección antes citadas resultan evidentes tonalidades que van del amarillo al negro, pasando por colores tostados rojizos o anaranjados, pudiéndose hablar casi de calcinación en algunas zonas. Además de esta alteración, hay un depósito de hollín especialmente significativo en la esquina de los muros sur y oeste, donde se encontraría el foco de ignición más intenso. Por efecto de la temperatura de estos mismos fuegos, se han producido delaminaciones^[6] y ampollas de diversa magnitud en la capa pictórica y en la última de preparación o enlucido. Las pérdidas por la acción de ladrones se pueden fechar con seguridad entre 1971 y 1974 y afectan a un tercio de la decoración pictórica, aunque muchos de los fragmentos arrancados del muro no fueron sustraídos del interior de la cámara, sino que se dejaron abandonados en el suelo. Podemos interpretar que la calidad técnica de la ejecución del muro, comentada anteriormente, evitó la delaminación y desprendimiento de las partes afectadas por los robos y, así, cabe la posibilidad de que los expoliadores dejaran

su labor a medias dada la dificultad. En las paredes este y norte se conservan multitud de perforaciones realizadas con cincel y cortes de sierra que, probablemente, se realizaron en una infructuosa búsqueda de zonas débiles del muro donde poder extraer fácilmente los fragmentos. Durante los trabajos de excavación efectuados en la campaña de 2025, se encontraron herramientas en el pasillo descendente que se han interpretado como los utensilios empleados por los saqueadores de la década de 1970: sierras, escofinas, hoces y un quinqué (Díaz-Iglesias Llanos *et al.* en prensa).

Tratamiento realizado

El delicado estado de conservación, las peculiaridades del trabajo en Egipto (tanto culturales como de disponibilidad de materiales), las reducidas dimensiones del espacio confinado y subterráneo, el difícil acceso a la cámara y la necesidad de coordinar en periodos relativamente breves de tiempo a lo largo de los años a los distintos equipos implicados en el proyecto son algunos de los factores que han hecho que la intervención en la cámara de Useramón resultase particularmente compleja. Ha sido necesaria una cuidadosa planificación para garantizar que todos los procesos se desarrollaran en el orden y con los tiempos previstos. Además, hubo que tener en cuenta que el trabajo, muchas veces con materiales tóxicos, tendría lugar en un espacio confinado en el que podían llegar a reunirse entre cinco y seis personas, con el impacto que ello supone en las condiciones microclimáticas de la cámara y, por tanto, en las condiciones de conservación de las pinturas. Para llevar a cabo un control y un seguimiento de la humedad y temperatura en el interior de la cámara se instalaron dispositivos termohigrómetros HOB0 que nos permitieron

comprobar que, en efecto, se alteraban las condiciones dependiendo del número de personas y del tipo de tareas que se llevasen a cabo^[7]. Para garantizar la seguridad y la salud del equipo nos servimos de un medidor de gases que alertaba cuando los niveles de CO alcanzaban valores que resultan perjudiciales para las personas.

Cuando los miembros del proyecto “Escribas del Reino Nuevo” entraron por primera vez en la cámara en 2019, fotografiaron los fragmentos de muro arrancado abandonados en el suelo y, durante la campaña de 2020, los recogieron y organizaron en planchas de cartón cubiertas con papel, ocupando más de un tercio del espacio del suelo. La reorganización de estos fragmentos en nuevas bandejas y cajas ha sido una constante en las distintas campañas. Se diseñaron y confeccionaron cajas apilables de cartón de modo que los fragmentos ocupasen un menor espacio y estuvieran más protegidos. Era necesario mantener en estas bandejas la información sobre la zona de la cámara en la que se habían recogido los fragmentos, ya que se trataba de datos útiles a la hora de su posible reposición en el muro. También había que posibilitar el avance en los trabajos de consolidación y limpieza de los fragmentos en paralelo a la consolidación del muro, previa a la reposición. Otro factor más a tener en cuenta era que estos mismos sistemas de almacenaje temporal debían de posibilitar el acceso a los fragmentos por parte de los epigrafistas en la labor de detectar uniones y ubicaciones originales. Según se fue avanzando en las tareas de reposición de fragmentos, se fue liberando espacio en el interior de la cámara, lo que facilitó el desarrollo del resto de tareas, y las bandejas se fueron reconfigurando, de forma que cada vez eran de menor tamaño. Los fragmentos que quedaron por colocar al acabar la campaña de 2025 se han almacenado en dos pequeños contenedores de plástico cerrado, organizados en bandejas que recogen la información de su ubicación en el suelo de la cámara en 2019.

— Consolidación del soporte y reposición de fragmentos

En la primera campaña de conservación y restauración de 2021, se llevó a cabo un exhaustivo examen del estado de conservación y los resultados de las observaciones se reflejaron en mapas de daños (véase la figura 8). Se planteó un trabajo de consolidación estructural comenzando por los estratos más profundos. Para ello se realizaron sucesivas impregnaciones por nebulización de silicato de etilo ESTEL 1000®, comprobando de un año para otro cómo los morteros disgregados mejoraban su cohesión. En las capas de mortero delaminadas se inyectó mortero PLM A® y se aplicó una ligera presión mantenida hasta el completo fraguado. En las capas más superficiales surgió el problema de que las resinas que mejores resultados de adhesión presentaban, emulsiones acrílicas en dispersión acuosa, podían generar brillos y saturaban de forma irreversible el tono de la pintura. Estas mismas resinas disueltas en disolventes orgánicos no alteraban el tono, pero tampoco garantizaban la estabilidad estructural de los estratos

delaminados. Se procedió a impermeabilizar ligeramente el sustrato inyectando Paraloid B72® en acetona al 5%, comprobando que, una vez hecho esto, era posible adherir las capas de enlucido sin alterar su aspecto mediante la inyección de Acril 33®.

Una vez estabilizados los materiales del soporte, tanto de las partes desprendidas como del muro, se consolidó estructuralmente el conjunto mediante la aplicación de morteros de relleno. A la hora de diseñar el mortero a aplicar nos basamos en las recomendaciones del personal egipcio, con una amplia experiencia en este tipo de pastas, así como en los resultados de una serie de pruebas llevadas a cabo variando las proporciones de los materiales (Bermeja Gigorro en prensa). Como conglomerante se utilizó cal hidráulica cargada con arena de sílice, más o menos cribada según se tratase de morteros aplicados en capas profundas o superficiales. Por recomendación del personal egipcio de restauración, se añadieron a esta mezcla pequeñas cantidades variables de un árido fino obtenido *in situ* moliendo manualmente piedra caliza y arcilla de la propia necrópolis. Este árido, denominado *hiba* por los egipcios (Lucas y Harris 1989, 76), aporta plasticidad a la pasta y una tonalidad que permite su uso como acabado final. También se incluyó en la pasta una parte de yeso, que da ligereza y flexibilidad al mortero (Álvarez, Martín y García Casado 1995; Lanas y Álvarez 2003; Luque *et al.* 2010). Con este mortero se aplicaron pequeñas piedras del entorno, generando una estructura interna similar a la original.

Paralelamente a estas labores, se llevó a cabo el trabajo con los fragmentos desprendidos organizados en las bandejas [Figura 9]. Se limpiaron mecánicamente con goma Wishab® y brocha suave. Una vez eliminado el polvo superficial, se aplicó un procedimiento de consolidación similar al descrito para el muro, en este caso fragmento a fragmento. Para los más pequeños (en muchos casos de menos de 1 cm) que sólo conservaban la capa de enlucido de un milímetro de espesor, se utilizó Fluoline CP® (Barreda Usó, Zalbieda Muñoz 2017), un consolidante diseñado específicamente para pinturas mates, efectivo con una sola aplicación y que minimizaba la necesidad de manipulación de estos fragmentos tan delicados. Los fragmentos ya consolidados se unieron entre sí cuando fue posible. Para resolver este complejo rompecabezas se observaron dos variables de carácter objetivo: las líneas de fractura de los fragmentos, muy precisas en muchos casos debido a que son relativamente modernas, y la disposición de los signos jeroglíficos. En este sentido, los epigrafistas contaban con la información de las fotografías en blanco y negro tomadas por el equipo suizo que trabajó entre 1960 y 1985 en TT 61, anteriores al expolio perpetrado en los años 70 (véase el apartado el primer apartado: El marco de los trabajos efectuados: la cámara funeraria de Useramón y el proyecto Escribas del Reino Nuevo, y Dziobek 1994: láms. 29-35). Los fragmentos de menor tamaño se adhirieron entre sí con emulsión acrílica en dispersión acuosa Acril ME®, y los de mayor tamaño con resina epoxi Araldite AW 2101/HW 2951®. En algunos casos fue necesario aplicar unos refuerzos

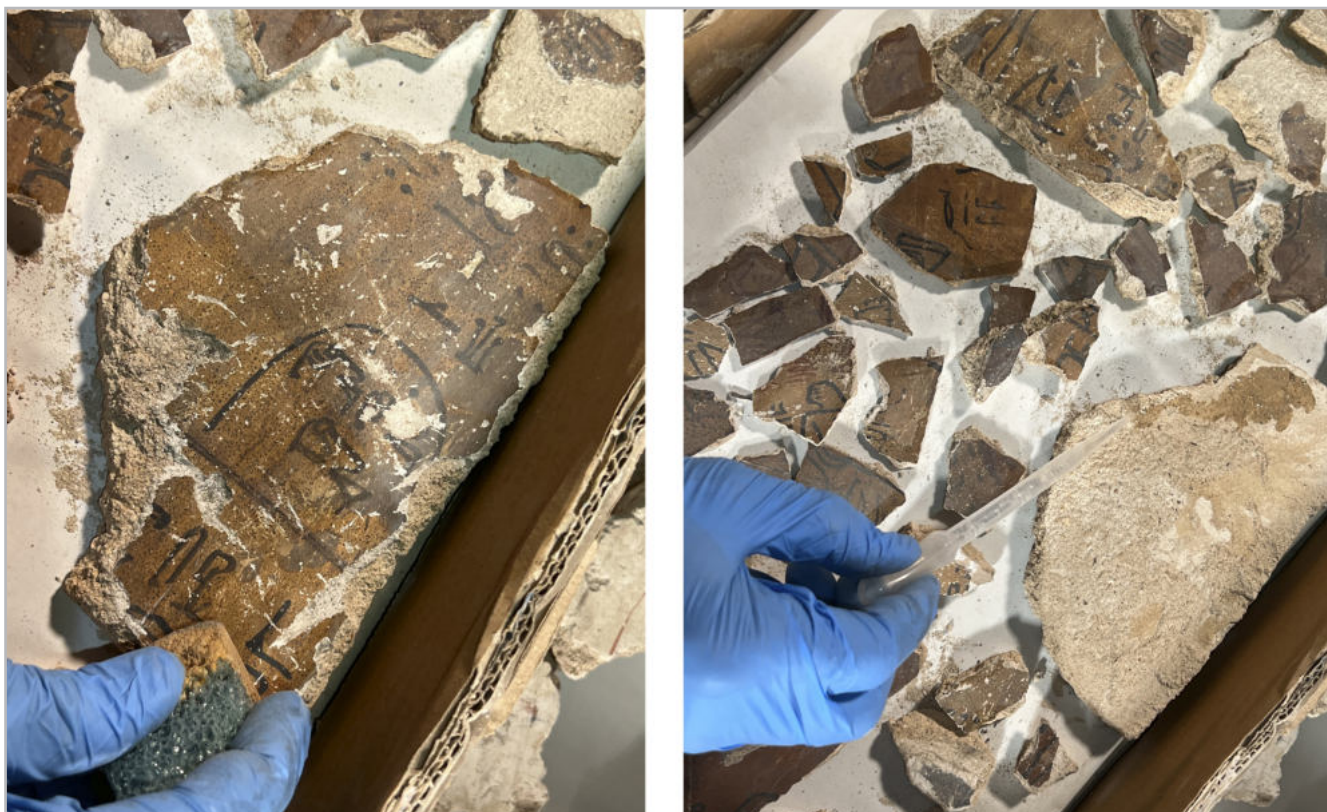


Figura 9. - Trabajo con los fragmentos en las bandejas. Izq.: limpieza mecánica. Dcha.: aplicación de consolidante por impregnación. © Proyecto Escribas del Reino Nuevo/I. Bermeja.

con escayola o con papel japonés y Acril ME® por el reverso. El refuerzo de papel, reservado para los fragmentos más pequeños, servía además de capa de intervención, ya que debido a su tamaño se contaba con menos información sobre su ubicación y en algunos casos planteaba dudas, por lo que era necesario un método de adhesión que fuera reversible y propiciara su recolocación en caso necesario.

Una vez terminada la consolidación, se procedió a recolocar los fragmentos en las distintas paredes [Figura 10]. Se comenzó con las piezas de mayor tamaño de la pared este donde los morteros del muro y los del reverso de los fragmentos encajaban perfectamente, de forma que no había dudas sobre su posición ni sobre su nivel con respecto a la superficie pictórica. Para llevar a cabo esta reposición se utilizó resina epoxi Araldite AW 2101/HW 2951®. Se usó escayola para garantizar la estabilidad de los fragmentos reposicionados hasta que se aplicaran los morteros de relleno. Como materiales de reposición de morteros se usaron piedras del entorno y un mortero similar al descrito antes, a base de cal hidráulica egipcia, polvo de caliza y arena de sílice cribada. Según los casos, se añadió yeso a la mezcla para propiciar una mayor manejabilidad de la pasta.

Con los fragmentos de mayor tamaño ya en el muro, se contaba con información suficiente para calcular los niveles para reintegrar los morteros y seguir recolocando aquellos fragmentos que habían perdido parte de su soporte. Se distinguieron dos niveles en función del grosor de los restos de soporte conservados en los fragmentos restantes:

- mortero a bajo nivel de entre uno y dos centímetros por debajo de la capa pictórica, coincidiendo aproximadamente con la superficie de la primera capa de preparación original del muro que, como se señala más arriba, se habría alisado con una herramienta tipo fratás.

- mortero a bajo nivel de un milímetro por debajo de la capa pictórica para fragmentos que sólo conservaban la última capa de preparación o enlucido.

Estos dos niveles no se aplicaron de forma homogénea y sistemática, sino que se dispusieron en función del grosor de los fragmentos que luego habría que recolocar en cada zona, con la idea de no eliminar el mortero reintegrado para ajustar los originales conservados.

Se consideraron aparte las marcas de los intentos de robo y el área donde la pintura fue efectivamente sustraída por los expoliadores por considerarse evidencias arqueológicas. Aquí la aplicación de mortero se restringió a necesidades de consolidación estructural.

Además de los morteros reintegrados con los niveles antes descritos, contábamos con los materiales del propio muro (con y sin capa pictórica) a partir de los cuales podíamos proceder a la reposición de los fragmentos desprendidos. El sistema de sujeción y adhesión se fue adaptando para cada fragmento, según se sujetase directamente sobre morteros reintegrados o sobre materiales antiguos. Para



Figura 10.- Reposición de fragmentos en la pared este. Arriba, izq.: estado inicial; arriba, dcha.: reposición de fragmentos que hacían contacto con la pared y comienzo de la aplicación de mortero de reintegración en dos niveles; abajo, izq.: evolución en reposición de fragmentos con el mortero de reintegración aplicado; abajo, dcha.: aspecto al final de la campaña de 2025. © Proyecto Escribas del Reino Nuevo/A. Gómez, L. Díaz-Iglesias.

fragmentos que sólo conservaban la capa de enlucido y que encajaban perfectamente con el mismo enlucido consolidado en el muro, se llevó a cabo la adhesión sencillamente con Acril ME®, cuyos buenos resultados en esta última capa ya habíamos comprobado en las adhesiones previas entre fragmentos individuales. Para piezas pendientes de colocar con restos de las otras capas de mortero originales por debajo del enlucido, más irregulares, con más volumen y más pesadas, se combinaron Araldite AW 2101/HW 2951®, como adhesivo, y escayola, como sistema de sujeción temporal. Los vacíos resultantes entre fragmento y fragmento se iban rellenando con las mismas piedras y morteros que se han comentado más arriba, evitando rellenos por colada para minimizar el aporte de humedad. Atendiendo a la

estética del conjunto, se aplicó una última capa del mismo mortero usado para reintegrar, pero con una arena de una granulometría más fina, de modo que se generan un tono y una textura homogéneos en las lagunas.

— Limpieza de la capa pictórica

Una vez estabilizados los materiales del muro, se realizaron pruebas de limpieza mecánica de la superficie pictórica con distintos tipos de gomas, bisturí y lápiz de fibra de vidrio [Figura 11]. Se observó un resultado óptimo utilizando goma Wishab® y brocha suave para retirar el polvo superficial y un depósito de hollín adherido, resultando el resto de procedimientos demasiado agresivos.



Figura 11.- Izq.: pruebas de limpieza mecánica con distintos procedimientos en la pared oeste. Dcha.: evolución de la limpieza con goma Wishab® en la pared sur. © Proyecto Escribas del Reino Nuevo/I. Bermeja y L. Díaz-Iglesias.

Para llevar a cabo la limpieza físico-química era necesario plantear primero objetivos y alcance. Tras la limpieza mecánica persistía una capa de hollín impregnado en la superficie que dificultaba la legibilidad de los jeroglíficos y que convenía tratar de eliminar para facilitar la tarea a los epigrafistas, especialmente en la esquina de las paredes sur y oeste. Por otro lado, como se ha comentado más arriba, el tono original del fondo sobre el que se trazaron los jeroglíficos era blanco y su tonalidad actual se debe al deterioro por fuego de las capas de imprimación y de protección aplicadas. Era necesario comprobar si era posible devolver a la cámara su tonalidad blanca original, aunque en este caso se trataba de un objetivo de carácter secundario ya que no se encuadraba entre los principales del proyecto y, además, la apertura de esta cámara al público general no parece probable dado su carácter de espacio confinado y de difícil acceso.

Se seleccionaron procedimientos y productos ya anteriormente utilizados en la limpieza de pintura egipcia antigua según la bibliografía consultada (Abd el-Tawab Bader y Ashry 2016; Al-Emam *et al.* 2021). Tras unas pruebas puntuales en ubicaciones aleatorias, se seleccionaron seis procedimientos para llevar a cabo otros tantos tests de calado en el extremo superior izquierdo del muro sur, donde las pruebas podían realizarse paralelamente sobre un área de fondo blanco, sobre zonas con jeroglíficos trazados encima de dicho fondo y en las bandas rosas. De este modo se podía comprobar primero el comportamiento de cada sistema de limpieza a la hora de eliminar el estrato amarillento donde no había signos. Hecho esto, se aplicaba el mismo sistema en la zona con signos y también en la banda rosa. Se usaron los siguientes productos y procedimientos: papeta AB57 con celulosa con barrera de papel japonés y aclarado con hisopo de algodón [Figura 12(1)]; papeta AB57 con Carbogel® con barrera de papel japonés y aclarado con etanol con hisopo de algodón [Figura 12(2)]; papeta de

Vulpex® al 5% en agua desmineralizada y Carbogel® con barrera de papel japonés y aclarado con etanol e hisopo de algodón [Figura 12(3)]; papeta de Vulpex® al 5% en etanol y Carbogel® con barrera de papel japonés y aclarado con etanol e hisopo de algodón [Figura 12(4)]; bicarbonato amónico al 10% en agua aplicado impregnando papel japonés, dejando actuar y secar antes de aclarar con hisopo de algodón y etanol [Figura 12(5)]; Vulpex® al 2% en etanol y aclarado con esencia de petróleo (*White Spirit*), todo con hisopo de algodón [Figura 12(6)].

Los seis sistemas de limpieza seleccionados resultaron efectivos para eliminar el estrato amarillento y llegar al temple blanco. Al aplicar estos sistemas en las zonas con signos trazados se observó que tanto rojos como negros se desgastaban ligeramente. Sí era posible limpiar con seguridad la banda rosa, cuya película pictórica era más gruesa y resistente. Por lo tanto, ninguno de los seis procedimientos probados resultó adecuado para eliminar la capa cromáticamente alterada sin dañar los signos. De los seis sistemas empleados, la mezcla de Vulpex® al 2% en etanol aclarada con esencia de petróleo eliminaba el depósito de hollín impregnado sin dañar los signos, aunque se trataba de un procedimiento delicado ya que el hisopo de algodón podía acabar erosionando la superficie. Una vez observados y discutidos estos resultados con los miembros del equipo, se optó por aplicar este procedimiento, pero restringirlo a las partes más ennegrecidas de las paredes sur y oeste (sobre todo en la esquina de encuentro de ambas [Figura 13]), donde los signos no eran legibles. El estrato cromáticamente alterado se dejó, primando la conservación sobre el resultado estético y anteponiendo la legibilidad de los signos. El problema derivado de esta decisión fue la toxicidad de las sustancias aplicadas, por lo que se tuvo que tener en cuenta este factor para organizar los equipos y proveer al personal de equipos de protección individual adecuados.



Figura 12.- Izq.: esquina superior izquierda del muro sur, una vez hecha la limpieza con goma Wishab®. Dcha.: misma zona con las distintas pruebas de limpieza. © Proyecto Escribas del Reino Nuevo/I. Bermeja.



Figura 13.- Izq.: esquina formada con las paredes sur (a la izquierda) y oeste (a la derecha). Se aprecia la diferencia entre la pared limpia (la oeste) y la que tiene todavía el depósito de hollín impregnado (la sur). Dcha.: evolución de los trabajos de limpieza en el muro sur, avanzando por los extremos y dejando para el final la parte central, la más delicada. © Proyecto Escribas del Reino Nuevo/L. Díaz-Iglesias.

La periodización anual de las campañas presenta la ventaja de poder observar el comportamiento de las superficies limpias en el medio plazo e ir reorientando el alcance y el aspecto final en las distintas zonas. Así, se apreciaron ciertos halos blanquecinos generados por un leve estrato de suciedad que no era posible retirar sin comprometer la integridad de los signos pintados. Se aplicaron sustancias consolidantes (Paraloid B72® en distintas concentraciones en acetona y en Dowanol® y Fluoline CP®) y, aunque el halo desaparecía, se generaban brillos que alteraban el aspecto original mate de la pintura. Por ello, se optó por tolerar la presencia de los halos blanquecinos ya que su impacto estético en el conjunto es mínimo y tampoco mejoraba la legibilidad de los signos de forma significativa.

Conclusión

Los trabajos llevados a cabo en la cámara funeraria de Useramón en el contexto del proyecto Escribas del Reino Nuevo ejemplifican la capacidad de la restauración para adaptar los tratamientos a las necesidades y limitaciones de cada obra en cada contexto, dando respuesta a factores dispares como la delicada naturaleza intrínseca del bien, lo intrincado de su ubicación, la organización de los equipos, la periodización de carácter anual o la disponibilidad y las limitaciones materiales o de logística que pueden darse en un trabajo de campo en el extranjero. Se ha antepuesto la preservación del bien aplicando de forma estricta el principio de mínima intervención, combinando esta necesidad de forma equilibrada con el resto de objetivos y disciplinas implicadas en el proyecto, encaminado a profundizar en las formas de educación y trabajo (a nivel colectivo e individual) de los escribas egipcios antiguos. Con esta visión se ha procurado diseñar metodologías y emplear materiales ya testados en trabajos similares, pero también se han buscado nuevos productos que pudieran dar una respuesta a la problemática precisa que aquí nos encontramos, aunque no se hayan aplicado al

contexto arqueológico del antiguo Egipto. Este es el caso del consolidante Fluoline CP®, sin el cual hubiera sido más complicado trabajar con los minúsculos fragmentos desprendidos de los muros que sólo conservaban la última capa de preparación del muro, los cuales era necesario revisar recurrentemente por los epigrafistas para dar con su ubicación precisa.

Además, esta intervención es una muestra de cómo la interdisciplinariedad y el trabajo en equipo contribuyen a adquirir una noción más ajustada de la realidad material de los bienes culturales. Esta noción es de gran ayuda para la conservación y restauración, ya que contribuye a asegurar que tratamientos y criterios sean la respuesta a la realidad del bien y a sus necesidades de preservación.

Agradecimientos

Esta publicación es parte del proyecto PID2023-148156NB-I00 financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER, UE. Para el trabajo de campo se ha obtenido financiación en convocatorias competitivas de entidades públicas (MICIU, CSIC, Ministerio de Cultura, Universidad de Granada) y privadas (Fundación Palarq, Asociación Española de Egiptología). Se ha contado también con el apoyo del Proyecto Djehuty (dirigido por J.M. Galán, CSIC) y de diversos organismos públicos españoles: Dpto. de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada, Dpto. de Geografía e Historia de la Universidad de La Laguna, Museo Nacional de Ciencias Naturales e Instituto de la Estructura de la Materia del CSIC. El trabajo de campo se desarrolla en colaboración y bajo la supervisión del personal del Ministerio de Turismo y Antigüedades, siendo los actuales responsables Mohamed Ismail Khaled (Secretario General del Servicio de Antigüedades Egipcias) y Hany Abdallah Eltayeb (Director General de Misiones Extranjeras y Comités Permanentes). Agradecemos a

todas las personas implicadas el apoyo prestado para la ejecución de los trabajos aquí descritos.

Notas

[1] "Filología Material aplicada al estudio de cámaras funerarias: escribas y patronos" (PID2019-105057GA-I00), en vigor desde 01-06-2020 a 29-02-2024; "Más que palabras: composiciones funerarias y cosmográficas egipcias antiguas analizadas desde la Filología Material" (PID2023-148156NB-I00), con plazo de ejecución del 01-09-2024 al 31-08-2028.

[2] Para TT 61, véanse Mond 1905: 73, fig. 7, lám. III y Dziobek 1994; para TT 87: Mond 1905: 75-76, fig. 11, láms. IV-IX y Guksch 1995.

[3] Los planteamientos teóricos y metodológicos del proyecto "Escribas del Reino Nuevo", las fuentes seleccionadas de estudio y los avances de las últimas campañas han sido publicados en varios trabajos: Díaz-Iglesias Llanos 2022, Díaz-Iglesias Llanos et al. 2022; Díaz-Iglesias Llanos et al. en prensa; Díaz-Iglesias Llanos y Jiménez-Higueras en prensa. Para la vía abierta en el estudio de las tintas egipcias a través de la experimentación, véase Díaz-Iglesias et al. 2025. Desde 2022, el proyecto "Escribas del Reino Nuevo" está co-dirigido por Lucía Díaz-Iglesias Llanos (CSIC) y Ángeles Jiménez-Higueras (UGR).

[4] De estas copias derivan una primera edición comentada del Amduat (Hornung 1963-1967) y las ediciones sinópticas de los textos de la Letanía de Re y del Amduat (Hornung 1975-1976 y Hornung 1987-1994).

[5] Presentaciones más detalladas de los estudios llevados a cabo se encuentran en: Díaz-Iglesias Llanos et al. 2022: 45-47; Díaz-Iglesias et al. 2025.

[6] Se sigue la definición de la Real Academia de Ingeniería "Modo de fallo en materiales compuestos que consiste en la separación de las capas que lo componen, y que supone una significativa pérdida de resistencia mecánica del material" (<https://diccionario.raing.es/es/lema/delaminaci%C3%B3n-0>).

[7] Los medidores HOB0 son monitorizados a distancia por un equipo de geólogos del Museo de Ciencias Naturales (CSIC: Sergio Sánchez-Moral y Soledad Cuezva Robleño). Está en preparación un artículo que correlacione las distintas actividades realizadas en el espacio subterráneo y confinado de la cámara funeraria de TT 61, el número de personas presentes y de focos de luz encendidos, con oscilaciones en la temperatura y humedad. De este trabajo saldrán recomendaciones sobre conservación preventiva en este tipo de espacios.

Referencias

ABD EL-TAWAB BADER, N.A. Y ASHRY, A.M. (2016). "The Cleaning of the Isis Temple's Mural Paintings in Upper Egypt Using Zinc Oxide Nanoparticles and Non-Ionic Detergent", *International Journal of Conservation Science*, 7 (2): 443-458.

AL-EMAM, E., GHAF0UR MOTAWEA, A., CAEN, J. Y JANSSENS, K. (2021). "Soot Removal from Ancient Egyptian Complex Painted Surfaces Using a Double Network Gel: Empirical Tests on the Ceiling of the Sanctuary of Osiris in the Temple of Seti I—Abydos", *Heritage Science*, 9 (1). <https://doi.org/10.1186/s40494-020-00473-1>

ÁLVAREZ, J., MARTÍN, A. Y GARCÍA CASADO, P. (1995). "Historia de los morteros", *PH. Boletín Del Instituto Andaluz Del Patrimonio Histórico*, 13: 52-59.

BARREDA USÓ, G. Y ZALBIEDA MUÑOZ, M.A. (2017). "Tratamientos de consolidación de soporte rocoso con manifestaciones de arte rupestre. Abric de Pinos (Benissa-Alicante)". En *Glocal [codificar, mediar, transformar, vivir] III Congreso Internacional de Investigación en Artes Visuales*, València: Editorial Universitat Politècnica de València, 137-145. <https://doi.org/10.4995/ANIAV.2017.5861>

BERMEJA GIGORRO, I. (en prensa). "La conservación-restauración al servicio de la comprensión de la cultura y el arte: el caso de la cámara de Nakhtmin", *Pátina*.

DÍAZ-IGLESIAS LLANOS, L. (2022). "Proyecto de documentación y conservación de tres cámaras funerarias en Luxor (Egipto): Fundamentos de la investigación e informe preliminar de la primera y segunda campañas de trabajo (2019-2020)", *Aula Orientalis*, 40 (1): 11-42. <https://www.ub.edu/ipoa/aula-orientalis/au-or-2022-401/>

DÍAZ-IGLESIAS LLANOS, L. Y JIMÉNEZ-HIGUERAS, Á. (en prensa). "El proyecto Escribas del Reino Nuevo: documentación y restauración en cámaras funerarias tebanas". En *Arqueología española en el exterior III (2023-2024). Conferencias impartidas en el Museo Arqueológico Nacional*, Galindo, M. y Plaza, C. (eds. técnicos). Madrid: Museo Arqueológico Nacional.

DÍAZ-IGLESIAS LLANOS, L., JIMÉNEZ-HIGUERAS, Á., MÉNDEZ-RODRÍGUEZ, D.M., SÁNCHEZ-CORTÉS, S., MARTÍNEZ RAMÍREZ, S., BERMEJA GIGORRO, I. Y GÓMEZ LAGUNA, A. (2022). "Preliminary Report on the Third and Fourth Seasons of the New Kingdom Scribes Project (2021-2022)", *Trabajos de Egiptología / Papers on Ancient Egypt*, 13: 9-51. <https://doi.org/10.25145%2Fj.TdE.2022.13.01>

DÍAZ-IGLESIAS LLANOS, L., JIMÉNEZ-HIGUERAS, Á., MÉNDEZ-RODRÍGUEZ, D.M., GUTIÉRREZ DURÁN, C., BERMÚDEZ CALLE, J.F., GONZÁLEZ-CASANOVA ÁVILA, A., BERMEJA GIGORRO, I. Y GÓMEZ LAGUNA, A. (2025). "Preliminary Report on the Work undertaken by the New Kingdom Scribes Project in the Substructure of the Tomb of Useramun (TT 61): Seasons 2023 to 2025", *Studien zur altägyptischen Kultur* 54.

DÍAZ-IGLESIAS LLANOS, L., SÁNCHEZ-CORTÉS, S., MARTÍNEZ-RAMÍREZ, S., BERMEJA GIGORRO, I. Y GONZÁLEZ-CASANOVA ÁVILA, A. (2025). "La manufactura de tintas en el Egipto antiguo: un ensayo de epigrafía experimental", *Aula Orientalis* 43 (2): 193-249.

DZIOBEK, E. (1994). *Die Gräber des Vezirs User-Amun: Theben Nr. 61 und 131*. Mainz: Philipp von Zabern.

GUKSCH, H. (1995). *Die Gräber des Nacht-Min und des Men-cheper-Raseneb, Theben Nr. 87 und 79*. Mainz: Philipp von Zabern.

HORNUNG, E. (1961). *Die Grabkammer der Vezirs User. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.*

HORNUNG, E. (1963-1967). *Das Amduat. Die Schrift des verborgenen Raumes.* Wiesbaden: Harrassowitz.

HORNUNG, E. (1975-1976). *Das Buch der Anbetung des Re im Westen (Sonnenlitanei): Nach den Versionen des Neuen Reiches.* Genève: Editions de Belles-Lettres.

HORNUNG, E. (1987-1994). *Texte zum Amduat.* Genève: Editions de Belles-Lettres.

LANAS, J. Y ÁLVAREZ-GALINDO, J.I. (2003). "Masonry repair lime-based mortars: Factors affecting the mechanical behavior", *Cement and Concrete Research*, 33. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01054-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01054-2)

LUCAS, A. Y HARRIS, J.R. (1989) [1962]. *Ancient Egyptian Materials and Industries.* London: Histories and Mysteries of MAN LTD.

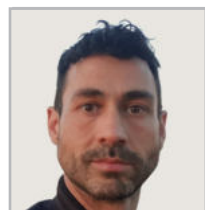
LUQUE, A., CULTRONE, G. Y SEBASTIÁN, E. (2010). "The use of lime mortars in restoration work on architectural heritage". En *Materials, Technologies and Practice in Historic Heritage Structures*, 197-207. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2684-2_11

MADDEN, B. Y TAVIER, H. (2018). "Original Painting Techniques. Methods and Materials in 18th Dynasty Tombs, in the Valley of the Nobles, Egypt". En *Tracing Technoscapes: The Production of Bronze Age Wall Paintings in the Eastern Mediterranean*, Becker, J., Jungfleisch, J. y von Rüden, C. (eds.). Leiden: Sidestone Press, 120-148.

MOND, M.R. (1905). "Report of Work in the Necropolis of Thebes during the Winter of 1903-1904", *Annales du Service des antiquités de l'Égypte*, VI: 65-96.

RÉGEN, I. (2002). "Les 'briques magiques' du vizir Ouser (ép. Thoutmosis III): reconstitution de l'ensemble (Caire JE 37621, Avignon A 59)". En *Egyptian Museum Collections Around the World: Studies for the Centennial of the Egyptian Museum Cairo*, Eldamaty, M. y Trad, M. (eds.). Cairo: Supreme Council of Antiquities, 991-1002.

Autor/es



Ignacio Bermeja Gigorro
nachobermeja@gmail.com
ECRA ARTE RESTAURACION
<https://orcid.org/0009-0007-5450-6962>

Entre 2002 y 2006 se formó como técnico superior de ilustración y escultura. Su trabajo fue seleccionado en el certamen Generaciones de Caja Madrid en 2009. Tras realizar el Servicio de Voluntariado Europeo en Corinto en 2004, se dedicó a la educación no formal en el ámbito de la creatividad. Se graduó primero y obtuvo luego el título de máster en 2016, en la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Madrid y realizó estancias en

los talleres de restauración del Museo del Prado y de la Universidad Católica de Oporto. Trabaja desde entonces como restaurador especializado en pintura tanto para particulares como en instituciones entre las que cabe citar el Museo del Prado, los museos municipales de Madrid, el Museo Arqueológico Nacional, el Museo del Romanticismo o el IPCE. Desde 2023 forma parte de la plantilla de Ecra, empresa de restauración de obras de arte y patrimonio con una trayectoria de más de 20 años. Tiene experiencia de trabajo *in situ* en retablos, entre los que destacan los mayores de la parroquia de Algete (2015 y 2016, Madrid), la Iglesia de Santa Leocadia (2017, Toledo), la Iglesia de Torre de Juan Abad (2019, Ciudad Real), o de la capilla de la Purificación en la catedral de Tarazona (2022, Zaragoza). También *in situ* ha trabajado con pintura mural en el Ateneo (2012), el palacio de Fernán Núñez (2013), la escalera de la Real Escuela de Minas o la Capilla de la Inmaculada en el Instituto de San Isidro, todos ellos en Madrid. En Egipto lleva cinco campañas de trabajo dirigiendo los trabajos de conservación y restauración en el proyecto de Escribas del Reino Nuevo, co-dirigido desde el CSIC y la Universidad de Granada.



Lucía Díaz-Iglesias Llanos
lucia.diaz-iglesias@cchs.csic.es
Científica Titular en el Instituto de Lenguas y Culturas del Mediterráneo y Oriente Próximo del CSIC (Madrid)
<https://orcid.org/0000-0002-4061-5726>

Doctora en Historia, especialidad en Egiptología, por la Universidad de La Laguna (ULL, Tenerife, 2012), con una tesis doctoral centrada en las tradiciones mitológicas de la provincia XX del Alto Egipto, con capital en Heracleópolis Magna. Disfrutó de varios contratos postdoctorales en la Universidad de Basilea en Suiza y en el CSIC en Madrid (programas Juan de la Cierva y Ramón y Cajal) entre 2015 y 2020. Desde el año 2020 es Científica Titular en el Instituto de Lenguas y Culturas del Mediterráneo y Oriente Próximo del CSIC (Madrid). Es experta en textos funerarios, en religión egipcia e historia local. Ha participado como epigrafista en varias misiones españolas y extranjeras: Proyecto Tahut, vinculado al templo de Debod (ULL y Museo de los Orígenes, dirigido por M.Á. Molinero y A. Martín); Heracleópolis Magna (MAN, dirigido por M.C. Pérez Die); Life Histories of Theban Tombs (Universidad de Basilea, dirigido por A. Loprieno-Gnirs); Proyecto dos cero nueve (ULL, dirigido por M.Á. Molinero); Proyecto Djehuty (CSIC, dirigido por J.M. Galán, del que fue subdirectora de 2017 a 2021). En 2019 inició el Proyecto de documentación y conservación en cámaras funerarias en Luxor que actualmente co-dirige con Ángeles Jiménez-Higueras (UGR).

Artículo enviado 17/07/2025
Artículo aceptado el 20/11/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v26i1.1420>

Monográfico:

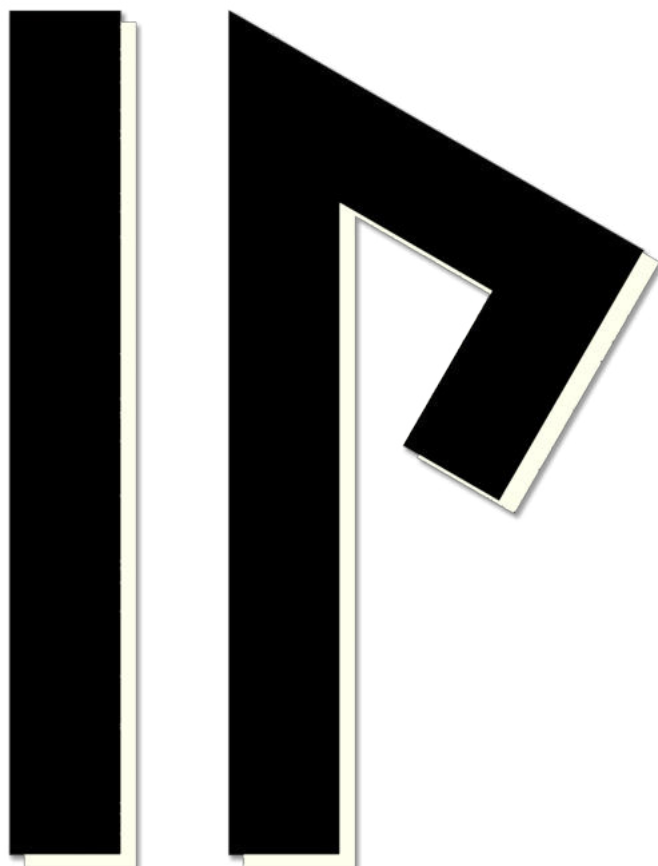
II Jornadas de Investigadores Júnior en Patrimonio

Jornadas JIP

MUSEO DE AMÉRICA 2, 3 y 4 de abril de 2025



Ge-conservación
Conservação | Conservation



II JORNADAS DE INVESTIGADORES JÓNIOR EN PATRIMONIO

Jornadas JIP

2, 3 y 4 de abril de 2025

MUSEO DE AMÉRICA



MUSEO DE  AMÉRICA



II Jornadas de Investigadores Júnior en Patrimonio

Presentación

Laura Maestro-Guijarro, Marina Martínez-Weinbaum, María Teresa Molina **173**

Inhibidores de cristalización salina en la conservación de madera y cerámica arqueológicas en las salinas espartinas (Ciempozuelos, Madrid)

Blanca Zarzalejos Vicens, Encarnación Ruiz-Agudo, Sarah Bonilla-Correa **175**

La conservación del patrimonio científico-técnico del CSIC

Marta Onrubia Chinarro, Susana Bartolomé Santos y María Teresa Molina **188**

Herramientas para la conservación y gestión de colecciones entomológicas: La Colección Luis Jiménez de Asúa de la Universidad Complutense de Madrid

Klo Nieto García y Fátima Marcos Fernández **200**

Biocleaning of Paraloid B72 and B82 acrylic resins: an exploratory study on increasing their bioavailability

Fabiana Martín-Caramés, Anxo Méndez, Clara Fernández-Garrido, Icíá Pérez, Patricia Sanmartín **213**

¿Qué ocurre cuando sellamos una trasera en pintura sobre lienzo? Estudio de los contaminantes gaseosos a través del pH microambiental

Daniel Morales-Martín, Alicia Sánchez-Ortiz **224**

Compuestos orgánicos en plantas yucatecas como base para la identificación de aglutinantes de la pintura mural maya

Jorge Martínez Sales, Claudia A. García Solís, Gloria I. Hernández Bolio **235**

Recomendaciones para la eliminación de depósitos calcáreos en cerámica arqueológica

Águeda Sáenz Martínez **248**

Machine learning tools for the classification of visible reflectance spectra of inorganic pigments historically used in wall paintings

Jordi Cruz, Roberto Sáez-Hernánd **256**

Evaluación de la tecnología láser como método de limpieza para pintura mural al temple

Laura Andrés-Herguedas, José Santiago Pozo-Antonio, Teresa Rivas Brea **265**

Productos de limpieza en museos: Evaluación de su idoneidad para objetos de plata

María García Ortúzar, Iván Díaz Ocaña, María Teresa Molina, Blanca Ramírez Barat **275**



II JORNADAS DE INVESTIGADORES JÚNIOR EN PATRIMONIO

Ge-conservación
Conservação | Conservation

Jornadas JIP - 2, 3 y 4 de abril de 2025

Presentación

Este monográfico constituye un testimonio de la diversidad de contribuciones presentadas durante las II Jornadas de Investigadores Júnior en Patrimonio (Jornadas JIP), celebradas los días 2, 3 y 4 de abril de 2025 en el Museo de América (Madrid, España). Las jornadas fueron promovidas por la "Plataforma Temática Interdisciplinar Patrimonio Abierto: Investigación y Sociedad" (PTI-PAIS) del CSIC y el Museo de América (MAM), que además contaron con el apoyo del Grupo Español del International Institute for Conservation (GE-IIC), la red TechnoHeritage, EXPM, y el Grupo Especializado de Química para el Estudio y Conservación del Patrimonio Cultural de la Real Sociedad Española de Química (GEQP-RSEQ).

Tras contar con la participación de 25 ponencias orales y 18 pósters en el citado evento, este número especial recoge la selección de las diez mejores contribuciones presentadas, propuestas por el comité organizador para su publicación. Los trabajos aquí reunidos reflejan la diversidad temática, metodológica y disciplinar que caracteriza a la investigación emergente en patrimonio, y ofrecen una muestra representativa del dinamismo

y la calidad del trabajo desarrollado por las nuevas generaciones de profesionales e investigador@s. Los artículos abordan una amplia variedad de materiales y contextos patrimoniales (arqueológicos, históricos, etnográficos y museográficos), así como enfoques innovadores en documentación digital, análisis técnico, conservación preventiva y gestión cultural. Entre las técnicas y perspectivas recogidas se incluyen tanto métodos tradicionales de caracterización, diagnóstico y restauración, como aproximaciones interdisciplinares que incorporan herramientas digitales, estudios sociales y reflexiones sobre la sostenibilidad y el impacto del patrimonio en la sociedad contemporánea.

Aunque estas jornadas fueron creadas por diversos motivos, uno de los principales fue contribuir a establecer la Ciencia del Patrimonio como una disciplina transversal y necesaria, unificando técnicas y conocimientos de diversas áreas como la Química, Física, Biología, Ciencia de los Materiales, Conservación-Restauración, Historia del Arte, Arqueología, Antropología, etc. con el fin de abordar de forma integral los retos de preservación

del patrimonio cultural. Sin embargo, queríamos hacerlo desde una perspectiva que fomentara la colaboración y conexión desde los primeros pasos de la carrera investigadora y/o profesional, por lo que se dedicó principalmente a estudiantes y profesionales emergentes de la conservación y restauración. En este sentido, consideramos que uno de los principales logros de las JIP ha sido ofrecer un espacio de visibilidad, diálogo y colaboración entre todos los asistentes, permitiendo la creación de redes y destacando la importancia del trabajo conjunto.

Como editoras de este número especial y como parte del equipo de coordinación de las jornadas, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al comité científico y a los revisores expertos por su dedicación y esfuerzo en la evaluación de los trabajos, así como al equipo editorial de la revista GE-Conservación por

la confianza depositada y por facilitar la publicación de este volumen. Finalmente, extendemos nuestro agradecimiento a todas las personas que formaron parte del comité organizador, así como a los ponentes y asistentes de las jornadas, cuya participación y compromiso han hecho posible este encuentro y, en consecuencia, esta publicación.

Deseamos que este número especial inspire a los investigadores júnior en patrimonio a enfocar su interés tanto en el patrimonio cultural en general como en las ciencias del patrimonio en particular. Asimismo, esperamos que quienes ya trabajan en este campo encuentren en estas páginas un espacio de referencia y motivación, como el que nos ha proporcionado a nosotras a lo largo de este trabajo.

¡Nos vemos en la próxima edición!

Equipo editorial

Laura Maestro-Guijarro
Marina Martínez-Weinbaum
María Teresa Molina



II JORNADAS DE INVESTIGADORES JÚNIOR EN PATRIMONIO

Ge-conservación
Conservação | Conservation

Jornadas JIP - 2, 3 y 4 de abril de 2025

Inhibidores de cristalización salina en la conservación de madera y cerámica arqueológicas en las salinas espartinas (Ciempozuelos, Madrid)

Blanca Zarzalejos Vicens, Encarnación Ruiz-Agudo, Sarah Bonilla-Correa

Resumen: Las sales solubles son uno de los agentes de deterioro del patrimonio material más dañinos, actuando cíclicamente. Destacan, entre otros, los sulfatos, sales mayoritarias en el yacimiento arqueológico Las Salinas Espartinas (Ciempozuelos, Madrid) que afectan a todos sus bienes muebles e inmuebles. Por este motivo, se estudiaron los modificadores de la cristalización de la sal. En concreto, se empleó el ácido aminotris-metilenfosfónico (ATMP), muy afín al sulfato sódico (Na_2SO_4) que predomina en la degradación de los materiales del yacimiento, como posible tratamiento de conservación de los materiales arqueológicos in situ (cerámica y madera). Se realizaron ensayos de alteración acelerada, complementados con técnicas analíticas de caracterización, como, por ejemplo, espectroscopía Raman, antes y después de los ensayos. Se corroboró así la efectividad del aditivo y la mejor conservación de los materiales como consecuencia de su presencia en ellos, al observarse, fundamentalmente, una disminución en la pérdida del material durante los ensayos.

Palabras clave: sulfato sódico, cerámica, madera, ATMP, conservación

Salt crystallization inhibitors to preserve archaeological wood and ceramics from las salinas espartinas site (Ciempozuelos, Madrid)

Abstract: Soluble salts are one of the most damaging agents of deterioration of material heritage, acting cyclically. Among others, sulfates stand out, which are the main salts found at the Las Salinas Espartinas archaeological site (Ciempozuelos, Madrid) and affect its built structures, as well as objects. This is the reason why salt crystallization modifiers were studied. Specifically, aminotrimethylene phosphonic acid (ATMP), which responds well to sodium sulfate (Na_2SO_4), the main agent responsible for the degradation of materials at the site, was used as a possible treatment for the in situ conservation of archaeological materials (ceramics and wood). Accelerated alteration tests were carried out, complemented by analytical characterization techniques, such as Raman spectroscopy, before and after the tests. This confirmed the effectiveness of the additive and the improved conservation of the materials as a result of its presence in them, as a decrease in material loss was observed during the tests.

Keywords: sodium sulphate, ceramic, wood, ATMP, conservation

Introducción

La cristalización de sales es una de las causas más comunes en la degradación de los materiales, con evidentes efectos no sólo en el aspecto, sino también en la superficie y en la estructura interna del material. En concreto, los sulfatos (SO_4^{2-}), han demostrado ser uno de los grupos de sales más dañinos para los materiales (Martínez-Martínez *et al.* 2021; Menéndez 2017; López-Arce 2012; Cassar *et al.* 2008; Ruiz-Agudo 2007; Lubelli y van Hees 2007; Rodríguez-Navarro y Doehne 1999; Grossi y Esbert 1994).

A pesar de la relevancia de la sal en la degradación del patrimonio, y aunque actualmente se conocen los

mecanismos de cristalización de algunas especies salinas, otras cuestiones se desconocen todavía, como, por ejemplo: cómo interactúan las sales con el material, la distinta capacidad de daño de cada una, la diferencia de degradación según la composición del sustrato o cómo influyen exactamente los factores ambientales en los procesos de disolución-cristalización (Rodríguez-Navarro y Doehne, 1999; Ruiz-Agudo, 2007; Martínez-Martínez, 2021; Wang y Zhang, 2023; Ruiz Agudo *et al.* 2024).

Generalmente, las labores de conservación buscan aislar al material del agente de deterioro. Esta es una estrategia poco viable frente a las sales y especialmente en el caso del patrimonio inmueble, construido y arqueológico, ya

que, por lo general, se encuentra expuesto a la intemperie, lo cual dificulta el control de las condiciones del entorno para la preservación (Oguchi y Yu 2021; Cassar *et al.* 2008; Rodríguez-Navarro y Doehne 1999). Por ello, diversos autores abordan el uso de modificadores de la cristalización de la sal, debido a su interacción con este agente de deterioro en las diferentes fases en las que se produce (Cassar *et al.* 2008; Lubelli y van Hees 2007; Ruiz Agudo 2007).

La literatura acerca del empleo de estos modificadores de la cristalización de la sal, en relación con la conservación de patrimonio como medida de prevención frente al daño que la cristalización de sales ocasiona, es escasa, aunque es una de las vías de investigación más frecuentada en las últimas décadas (Rodríguez-Navarro *et al.* 2000; Ruiz Agudo 2007; Cardinali *et al.* 2021; Ruiz Agudo *et al.* 2024).

Los estudios consultados, como los llevados a cabo por Lubelli y van Hees (2007), Ruiz Agudo (2007; *et al.* 2024), o Vavouriki y Koutsoukos (2015) sugieren que algunos de estos productos sí podrían ofrecer resultados positivos, si bien los primeros (Lubelli y van Hees 2007) subrayan que la efectividad de los modificadores disminuye al añadirlos en materiales con un alto contenido en sales ya presente. De manera similar, Ruiz Agudo *et al.* (2024) advierten sobre la posibilidad de provocar las reacciones de disolución y re-precipitación dañinas en los materiales saturados de sales, especialmente si la metodología de aplicación de los modificadores escogida implica humectación.

Debido al desconocimiento tanto sobre el daño por cristalización de sales como sobre la actuación de los modificadores y los posibles perjuicios a largo plazo que pudieran ocasionar sobre los materiales (Rodríguez-Navarro *et al.* 2000; Martínez-Martínez *et al.* 2021), el empleo de estos productos para la conservación del patrimonio no suele recomendarse, especialmente sin estudios previos de laboratorio que lo justifique (IPCE 2013). El estudio de los métodos de aplicación también es fundamental, ya que se ha demostrado que influye directamente en la efectividad del producto que se quiera usar (Rodríguez-Navarro *et al.* 2000; Lubelli y van Hees 2007; Ruiz Agudo *et al.* 2024). Este desconocimiento es mayor en relación con las mezclas de sales, cuyo comportamiento es considerablemente más complejo.

Las mezclas de sales se dan con más frecuencia, tanto en la naturaleza como en los materiales de construcción, que cada una de sus partes individualmente. Sin embargo, apenas han sido investigadas, ni su comportamiento como agente de deterioro ni su interacción con modificadores de cristalización (Lubelli y van Hees 2007; Linnow *et al.* 2013; Lindström *et al.* 2015; Menéndez 2017; Godts *et al.* 2023; *et al.* 2024), a pesar de que conformarían un escenario de estudio más realista y, por tanto, aportarían resultados más precisos y relevantes acerca de la efectividad de los modificadores de la sal.

Cabe destacar, por tanto, los estudios de: Linnow *et al.* (2013), acerca del comportamiento del sistema NaNO_3 -

$\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ para tratar de determinar su grado de sobresaturación; Lindström *et al.* (2015) y Abu Alhassan (2024) al respecto, ambos centrados en la actuación de las mezclas de sales en areniscas; Godts *et al.* (2023), sobre, entre otros, los sulfatos de sodio y magnesio, su mezcla, y la degradación tanto en materiales pétreos como cerámicos; Wang y Zhang (2023), concretado en la meteorización del patrimonio en piedra por la actuación conjunta de la cristalización de mezclas de sales y la congelación; y Godts *et al.* (2024), en el que los autores definen el comportamiento de diversas mezclas de sales ante fluctuaciones rápidas y lentas de humedad relativa (HR), del 15% al 95%, bajo temperatura (T) constante de 20°C, con la intención de aportar modelos fidedignos de cara a la elaboración de estrategias de conservación de patrimonio construido, entre otros fines.

El yacimiento arqueológico de Salinas Espartinas (Ciempozuelos, Madrid) engloba un conjunto de estructuras relacionadas con la explotación de la sal, desde el Neolítico hasta el siglo XX, según la Sociedad Española de Historia de la Arqueología (Ayarzagüena y Carnaval 2005:72). Se encuentran en un terreno semidesértico, con gran cantidad de cerros yesíferos, donde Rafael de Rodas y José Luis Casaseca descubrieron la presencia de thenardita (Na_2SO_4) en 1826, junto con otras sales secundarias, como la halita (NaCl), la glauberita ($\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$) y la anhidrita (CaSO_4) (IGME 2021). Cabe destacar la presencia de grandes afloramientos de sales, las cuales proceden tanto del suelo como de fuentes de agua salobre subterráneas. Estos afloramientos se formaron hace aproximadamente 15-23 millones de años, durante el Mioceno Inferior, cuando el terreno era lacustre. A causa del cambio a un clima árido, se evaporó el agua presente y precipitaron las sales (endorreísmo), que se mezclaron con los depósitos de yeso y el suelo. A día de hoy, vuelven a ser visibles gracias a los cursos de agua de la zona (Ayarzagüena 2024b; Valiente *et al.* 2003) [Figura 1].

En base a las fuentes bibliográficas previas (Ayarzagüena y Carnaval 2005; Ruiz-Agudo 2007; García y Valiente 2009; Ayarzagüena 2024a; Ayarzagüena 2024b), se anticipó en la muestra de sal estudiada, tomada directamente de uno de los afloramientos mencionados, la presencia de todas o algunas de las siguientes fases cristalinas: thenardita (Na_2SO_4), glauberita ($\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$), mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$), bloedita ($\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$), halita (NaCl), yeso ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y epsomita ($\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Se incluyó además un estudio acerca del comportamiento de un aditivo orgánico, el ácido aminotris-metilenfosfónico (ATMP), en la cristalización de mezclas de sales en el seno de los materiales, ya que resultados previos de Ruiz-Agudo y colaboradores (2007:126-130) concluyeron que era uno de los aditivos que presentaba mejor interacción con los sulfatos, tanto durante su nucleación como su crecimiento, para minimizar el daño que estas sales producen en los materiales.

El objetivo principal de esta investigación es el estudio del modificador de la cristalización de la sal ATMP como posible

tratamiento de conservación de la cerámica y la madera, los dos materiales mejor conservados y más frecuentemente hallados en el yacimiento descrito, tanto en los restos de infraestructuras conservados como fragmentos de objetos de uso. De manera secundaria, se caracterizarán los materiales y su degradación por cristalización de las sales, profundizando en el conocimiento de esta área, de especial relevancia en el caso de la madera, debido a la falta de bibliografía al respecto.

Por lo tanto, el propósito del estudio de los modificadores desde el punto de la vista de conservación patrimonial, en el que se enfoca esta investigación, es determinar la viabilidad de incluir estos productos en futuras intervenciones de conservación y restauración sobre materiales saturados en sales con el fin de lograr su mejor preservación, en concreto los materiales cerámicos y ligneos constructivos encontrados en el yacimiento arqueológico [Figura 1].

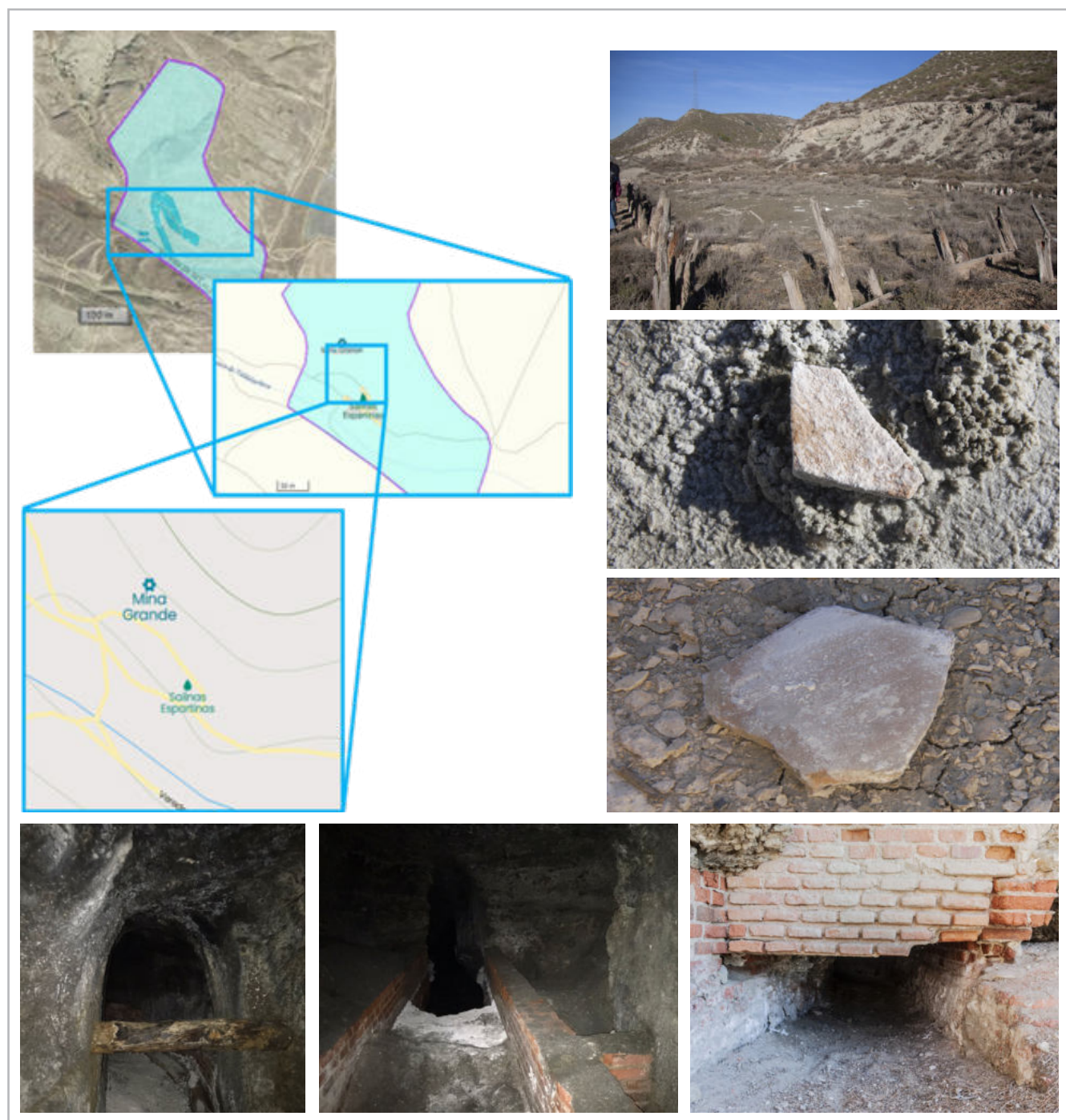


Figura 1.- Localización y materiales en el yacimiento arqueológico Las Salinas Espartinas (Ciempozuelos, Madrid): A) Localización del yacimiento y de la principal fuente de agua salobre subterránea, junto con su acceso por la Mina Grande (IGME 2021, Mapcarta 2021); B) de arriba hacia abajo: tablones de madera perimetrales de la balsa-calentador de San Miguel y fragmentos de cerámica de uso; y C) materiales en el interior y en el exterior de la Mina Grande. Fotografías propias.

Metodología

Para la consecución del objetivo del estudio, se recurrió a la ejecución de ensayos de alteración acelerada, fundamentalmente de cristalización de sales (utilizando mezclas procedentes del yacimiento), sobre probetas preparadas simulando los materiales presentes *in situ*, y el análisis de los efectos de esta cristalización en la cerámica evaluada mediante diferentes técnicas analíticas, como, por ejemplo, porosimetría por intrusión de mercurio (PIM). Se añadió además ATMP a las soluciones salinas, para determinar el efecto del aditivo en el estado de conservación de los materiales y su interacción con la sal. Con la intención de comprobar de manera más realista la efectividad del aditivo, se simularon las condiciones ambientales registradas en el municipio de Ciempozuelos, a partir de los datos recogidos en Weatherspark (2024), en uno de los ensayos de cristalización. Cabe señalar que no se pudo tener acceso a los materiales originales, por lo que las probetas se prepararon a partir de la información recogida en la literatura: la cerámica había sido previamente caracterizada mediante difracción de rayos X en 2009; pero no así la madera, sobre la cual no se pudo conocer la especie concreta empleada en el yacimiento arqueológico estudiado.

En el caso del análisis de las cerámicas de 2009, los autores del estudio identificaron: clorita, esmectita, illita, yeso, mirabilita, caolinita, glauberita, cuarzo, filosilicatos, calcita, dolomita, feldspatos potásico y calcosódico. Además, también pudieron determinar que se habrían empleado desengrasantes de naturaleza vegetal en el momento de su fabricación (García y Valiente 2009; Ayarzagüena y Carnaval 2005).

En base a esta composición, se decidió preparar las probetas de cerámica usando una mezcla arcillosa procedente de la localidad de Jun (Granada), con presencia de carbonatos al igual que la cerámica de uso del yacimiento (García y

Valiente 2009). Esta mezcla fue utilizada en la tesis doctoral de D^a. Laura Crespo-López López (2024) y, a partir de la caracterización mediante difracción de rayos X (DRX) recogida en la misma, se pudo constatar la similitud entre ambas.

La forma de las probetas se obtuvo mediante dos moldes de madera de 15x20x4 cm, los cuales dieron lugar a ladrillos, posteriormente cortados en cubos de 4x4 cm. Se contó con 3 kg de mezcla preparada, a los que se añadieron aproximadamente 350 mL de agua/kg de mezcla, amasándolos en cuencos y presionándolos con fuerza contra las paredes de los moldes, colocados previamente sobre acetatos que facilitasen su manipulación. Esta presión ayudaría a expulsar el aire de la masa y favorecer su homogeneidad. Después de una hora de secado, se desmoldaron y cortaron con un cuchillo los cubos, dejándolos secar en una estufa posteriormente durante 30 días a 32°C (simulando un ambiente veraniego, para acelerar el secado). A continuación, se seleccionó una temperatura de cocción de 700°C con una rampa de 2°C/minuto, en base a la presencia de clorita y esmectita documentada en las cerámicas arqueológicas y según el diagrama de la Figura 2.2, que indica que no puede haberse superado esta temperatura al estar presentes estas fases minerales, así como carbonatos. Se mantuvieron los 700°C durante 3 horas y se apagó la estufa. Para enfriarlas, se mantuvieron en su interior durante 24h y después se sumergieron 1h en agua.

Se describen a continuación los ensayos realizados y técnicas analíticas de caracterización utilizadas, de las 24 probetas cúbicas de 4 cm de lado, tanto de cerámica como de madera [Figura 2], incluyendo los valores iniciales y finales de cada uno. Cabe mencionar que no se presentarán en este artículo los resultados de todos los ensayos y técnicas, sino únicamente aquellos considerados más relevantes por la información que revelan sobre el aditivo estudiado.



Figura 2.1.- De izquierda a derecha: Probetas de cerámica preparadas a partir de la mezcla procedente de Jun (Granada) empleada en la tesis doctoral de la Dra. Laura Crespo-López López (2024, UGR), ya que su composición era la más afín a la de la cerámica de uso del yacimiento, caracterizada en 2009 por García y Valiente; y probetas de madera de pino, la especie de madera más comúnmente empleada en España y a la que se recurrió ante la falta de información acerca de la conservada *in situ*.

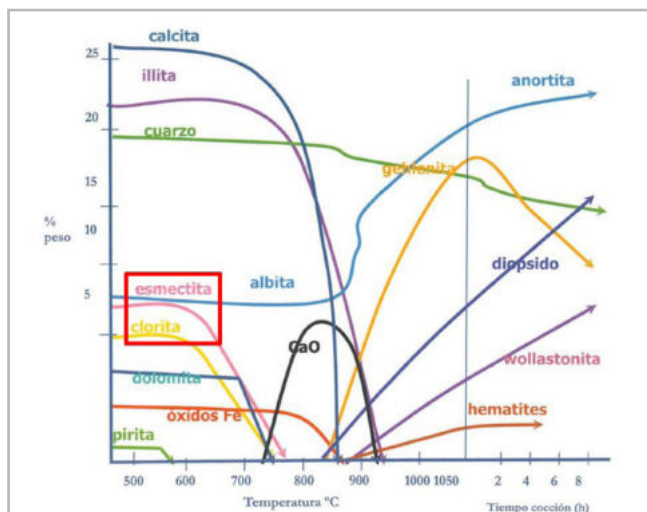


Figura 2.2.- Diagrama de evolución de fases minerales en función de la temperatura de cocción (Peter e Iberg, 1978) editado. Destacadas en rojo las arcillas de la mezcla condicionantes de la cocción.

— Análisis mineralógico

Se caracterizaron la sal y la greda (arcilla verde) procedentes del terreno del yacimiento, además de las probetas cerámicas preparadas, con difracción de rayos X (DRX). Para ello, se empleó un difractómetro de rayos X PANalytical X'Pert Pro (radiación Cu K α , $\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$, rango de 3 a $50^\circ 2\theta$, velocidad de barrido de $0.11^\circ 2\theta \text{ s}^{-1}$) del Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Granada. Para la completa caracterización de las arcillas de las muestras de greda, se prepararon agregados orientados tratados con etilenglicol (EG), dimetilsulfóxido (DMSO) y calor ($<550^\circ\text{C}$). Por otro lado, se analizó el material filtrado de la solución salina que se utilizó en los ensayos de alteración. La probeta de cerámica también se caracterizó a partir de la absorción de la radiación infrarroja (IR) en los espectrómetros JASCO 6600 y JASCO 6200 en el rango de frecuencia de $400\text{--}4000 \text{ cm}^{-1}$, resolución 2 cm^{-1} y 32 acumulaciones, también del departamento anteriormente citado.

Adicionalmente, se caracterizó la sal mediante termogravimetría y calorimetría diferencial de barrido (TGA/DSC) con un equipo TGA/DSC de Mettler-Toledo, en el rango de temperatura de $25\text{--}950^\circ\text{C}$, velocidad de calentamiento de 20 K/min , flujo de aire de 120 mL/min , del mismo departamento. Finalmente, se recurrió a la espectroscopía Raman con HORIBA XPloré Plus, del Departamento de Mineralogía y Petrología de la UGR, para observar el proceso de cristalización del sulfato sódico (sal mayoritaria del yacimiento), gracias al microscopio óptico acoplado en el equipo. Se depositaron dos gotas de $20 \mu\text{m}$ de dos soluciones salinas al 12% en agua, con y sin aditivo, sobre un portamuestras de vidrio. En el caso de la solución aditivada, el ATMP se preparó con una concentración de 0.001 M . Se depositaron gotas esféricas, de tamaños notoriamente distintos entre sí, para determinar la influencia del tamaño de gota en la velocidad de cristalización.

— Ensayos de caracterización hídrica

Para los ensayos de caracterización hídrica se siguió la norma para la ejecución de los ensayos de humedad-sequedad (UNE EN 16322:2016) y se realizaron 15 ciclos a lo largo de 3 semanas. Las probetas secas, tres de madera y tres de cerámica, se pesaron y a continuación se introdujeron en la estufa a 105°C durante 20 horas, tras las cuales se volvieron a pesar y se mantuvieron durante 2 horas a temperatura ambiente (22°C). Se sumergieron en agua durante 2 horas y a continuación se secaron en la estufa a la temperatura y durante el tiempo previamente indicados, reiniciándose el ciclo. Posteriormente se continuó con el ensayo de absorción-desorción, atendiendo a la norma UNE EN 13755:2008. Si bien esta norma se refiere a piedra natural, el ensayo que plantea tiene en cuenta los sulfatos que también se emplearon en este estudio. Una vez pesadas las probetas secas (de nuevo, tres de cada material) se introdujeron en agua y se tomaron nuevas medidas de peso cada 5 minutos durante 2 horas. A continuación, se mantuvieron las probetas en una cámara de vacío por un periodo de 17 horas, de manera que se saturase el sistema poroso de las probetas, incluyendo el aislado. Por último, se midió el peso para ver el proceso de secado siguiendo la norma UNE EN 16322:2016.

— Ensayos de envejecimiento artificial acelerado

En cuanto a la duración de los ensayos de alteración acelerada, se consideraron suficientes 15 ciclos por ensayo de cristalización, 5 por semana durante 3 semanas. Se estableció este número de ciclos ya que, tanto en normativa UNE como en la RILEM, se observan resultados a partir de la segunda semana. También fue debido a las limitaciones temporales con las que se contaba en el momento de ejecución. Todos los ensayos descritos a continuación se realizaron con probetas cerámicas y de madera.

• Ensayos de hielo-deshielo

De acuerdo con la norma UNE EN 14617-5:2012, si bien esta tiene por objeto de estudio la piedra aglomerada, las probetas secas (tres de cada material) se mantuvieron inmersas durante 48 horas en agua desmineralizada, para garantizar su saturación y después de haber sido pesadas. A continuación, se introdujeron en el congelador a -20°C por un periodo de 10 horas, para volver a sumergirlas en agua a temperatura ambiente de 22°C durante 14 horas hasta la descongelación. Se repitió durante 15 ciclos, como en todos los casos anteriores.

• Ensayo de cristalización de sales

Se tomó como referencia la norma UNE-EN 16455:2016, la cual, aunque se refiere específicamente a los materiales pétreos, incluye el sulfato sódico, que coincide con la

composición mayoritaria de la muestra de sal analizada. Además, y teniendo en cuenta que no existen normas específicas para la degradación de madera, se decantó por recurrir a la ya mencionada como referencia y poder comparar la respuesta de los materiales ante un mismo proceso. Este ensayo normalizado se nombrará como SALES 1 de ahora en adelante y se realizó sobre seis probetas de cada material, tres sin aditivo y tres con aditivo. Adicionalmente, se diseñó un ensayo por saturación combinado con ciclos de humedad, buscando reproducir específicamente las condiciones observadas en el yacimiento de Salinas Espartinas y analizar el efecto de transiciones de fases (de mirabilita a thenardita, en el caso del sistema de sulfato sódico) [Figura 3], inducidas por exposición a distintas humedades relativas (HR) controladas mediante gel de sílice e higrómetros, a una temperatura constante [Tabla 1]. De esta forma, se imitan los posibles procesos de cristalización en el yacimiento. Este ensayo diseñado se denominará SALES 2, nuevamente sobre seis probetas de cada material, distinguiendo tres con aditivo de las tres restantes sin aditivo.

Para ambos ensayos, se prepararon dos tipos de soluciones salinas, a partir de la sal del yacimiento disuelta en agua,

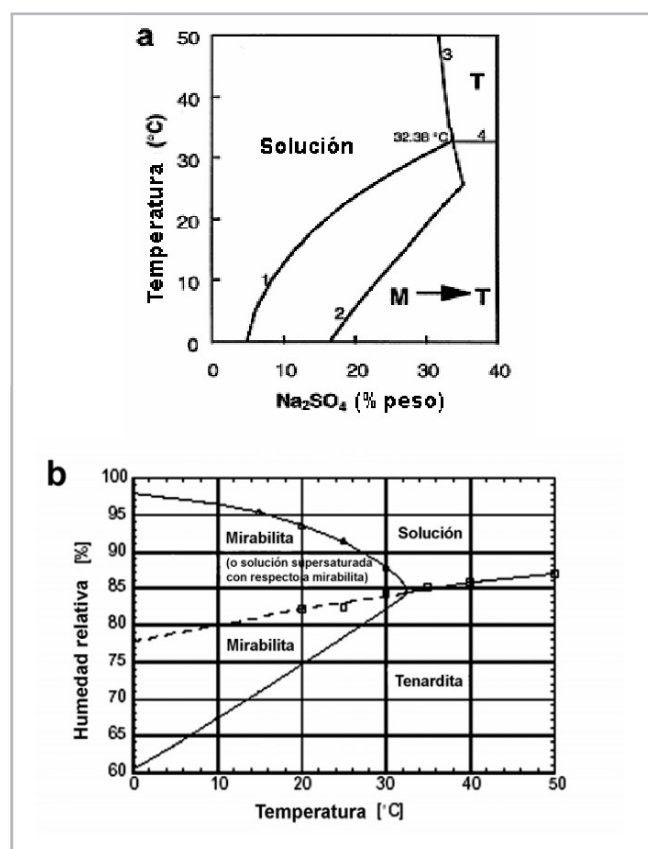


Figura 3.- De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: Diagrama de solubilidad del sistema sulfato sódico-agua: a) T-peso-mirabilita y b) HR-T. La primera curva en a) es de equilibrio de la fase heptahidratada o metaestable; mientras que la segunda curva es la de transición entre esta fase a la mirabilita. La tercera curva es la de equilibrio de thenardita y la cuarta la de transición de mirabilita a thenardita. Fuente: Rodríguez Navarro *et al.* 2000a

	SALES 1	SALES 2
Secado de probetas	17 horas, en estufa a 105°C	
Temperatura ambiente	2 horas	-
Inmersión en solución salina	4h	48 horas para garantizar saturación de probetas. La mitad se sumergieron en solución salina con aditivo.
Secado de probetas	17 horas, en estufa a 105°C	-
Exposición a 60% HR	-	10 horas
Exposición a 90% HR	-	14 horas

Tabla 1.- Pasos de ambos ensayos de cristalización realizados. Fuente: elaboración propia.

en las que se sumergieron las probetas: una de control -sin aditivo- y otra con la sal y el aditivo ATMP. En total, se prepararon 4 L de solución, destinando 2 L a cada tipo y manteniendo una proporción de 120 g de sal en 880 mL de agua desmineralizada (soluciones de 1 L con sal al 12%), todas ellas filtradas para eliminar las arcillas y otras impurezas que habían precipitado. En el caso de las soluciones con ATMP, se añadieron 0.448g (0.001M) del aditivo en el 1.5L de agua necesario para la inmersión de las probetas

— Porosimetría por intrusión de mercurio (PIM)

Tras los ensayos de sales, se determinó el tamaño y distribución de la porosidad abierta de las probetas cerámicas mediante PIM. Para ello, se analizaron cinco fragmentos: uno inalterado, como control; dos procedentes de una probeta sin aditivo, de los cuales uno fue desalado; y dos procedentes de una probeta con aditivo, de los cuales uno fue desalado. Este análisis se realizó con el equipo Romero FLOWtronic y el software MicroActive AutoPore V del Departamento de Mineralogía y Petrología de la UGR. 2.1.5. Microscopía óptica con luz polarizada (MOP) y microscopía electrónica de barrido con análisis composicional mediante dispersión de energía de rayos X (SEM-EDX).

Para la caracterización mediante MOP y SEM-EDX, se prepararon tres láminas delgadas de probetas cerámicas, una de ellas inalterada, tomada como control, y dos tomadas de material cerámico después de los ensayos, tanto sin como con aditivo. El equipo utilizado para el análisis de SEM-EDX ha sido el microscopio modelo Auriga, Carl Zeiss SMT del Centro de Instrumentación Científica (CIC) de la UGR y Thermo Scientific Phenom XL del Departamento de Mineralogía y Petrología de la misma universidad.

Resultados y discusión

A continuación, se destacan únicamente los resultados que se consideraron más relevantes en relación con el comportamiento del aditivo en los materiales y de su degradación a causa de la cristalización de la sal. Estos son: espectroscopía Raman, ensayos de cristalización y porosimetría por intrusión de mercurio (PIM).

— Espectroscopía Raman

Atendiendo a la descripción realizada de este análisis (apartado 2.1.1. Análisis mineralógico), los tiempos de cristalización y dimensiones de las gotas se presentan en la Tabla 2.

Este análisis puso de manifiesto que los cristales formados presentaban una estructura acicular y morfologías congruentes con el rápido crecimiento observado, especialmente acelerado en presencia del aditivo. Tal y como se refleja en la Tabla 2, la cristalización de las gotas con ATMP no sólo comenzó tres veces más tarde que en el caso de la solución control, sino que además duró menos tiempo (17 minutos sin ATMP frente a 14 minutos con ATMP). Consecuentemente, las dimensiones de anchura y longitud del cristal final formado son menores [Figura 4], lo cual podría implicar una disminución del daño asociado a la cristalización de la sal.

A raíz de estas observaciones, se dedujo que el ATMP efectivamente había actuado como inhibidor de la nucleación, retrasando el inicio de la cristalización, aunque acelerando la velocidad de crecimiento. Este efecto inhibidor posibilita que la cristalización tenga lugar en la superficie del material en forma de eflorescencias, como se pudo observar durante los ensayos, lo cual también reduce el daño que las sales ocasionan en el interior (Ruiz Agudo 2007:63).

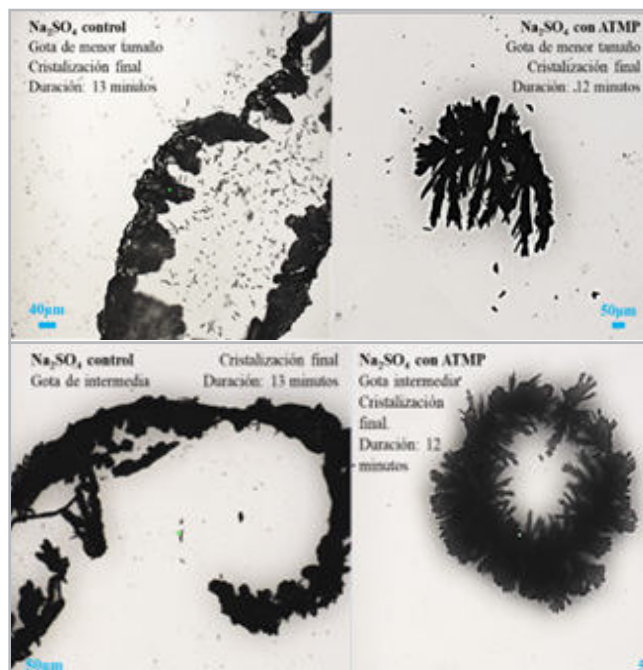


Figura 4.- Comparación de gotas de disolución con y sin aditivo, de diferente tamaño. Fuente: elaboración propia.

— Ensayos de cristalización

En el caso del ensayo de SALES 1, el comportamiento de cada material fue notoriamente distinto entre sí, con y sin aditivo [Figura 5].

El mejor resultado, en términos de cambios de peso registrados al final del último ciclo de ensayos, fue observado en las probetas cerámicas con aditivo, seguido por las probetas cerámicas sin aditivo, las probetas de madera sin aditivo y, por último, las probetas de madera con aditivo.

Las probetas cerámicas con aditivo no llegaron a perder peso por debajo de los valores iniciales, mientras que las

GOTA		DIÁMETRO INICIAL (cm)	DIMENSIÓN CRISTALIZAC. (a x L, cm)	INICIO CRISTALIZAC. (minutos)	FIN CRISTALIZAC. (minutos)
Con ATMP	PEQUEÑA	0.155	0.0525 x 0.055	9.36	12
	MEDIANA	0.225	0.1025 x 0.1	23.14	26
Sin ATMP	PEQUEÑA	0.156	0.075 x 0.106	3.40	13
	MEDIANA	0.175	0.215 x 0.125	20.37	28

Tabla 1.- Datos de las medidas en Raman de la cristalización de sales. La columna "Dimensión" se refiere a las dos dimensiones del espacio, una vez finalizada la cristalización, que pudieron medirse en la pantalla del monitor y convertir a cm de acuerdo a una escala conocida, aportada por el programa (siendo 2ª el ancho máximo y "L" la longitud máxima). La columna "Inicio cristalización" se refiere a los minutos transcurridos desde que se inició la prueba e incremento térmico hasta el momento en el que comenzó la cristalización. La columna "Fin cristalización" se refiere a los minutos transcurridos desde que se inició la prueba hasta que finalizó la cristalización. Fuente: elaboración propia.

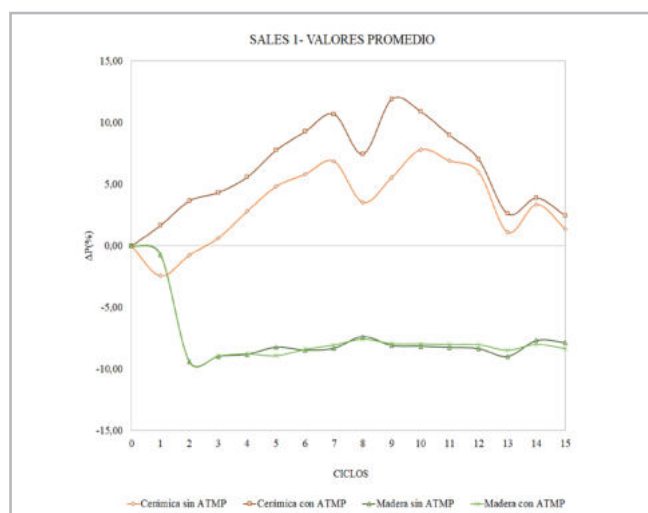


Figura 5.- Resultados de los ensayos de cristalización de sales (Sales 1): comparación de valores promedio de cambio de peso de ambos materiales a lo largo del ensayo, con y sin aditivo ATMP. Fuente: elaboración propia.

probetas cerámicas sin aditivo sí, si bien a lo largo del ensayo volvieron a presentar valores positivos. El comportamiento de ambos grupos de probetas cerámicas fue bastante similar a lo largo del ensayo, aproximándose más en los últimos ciclos, si bien se puede apreciar que las probetas cerámicas con aditivo continuaron presentando valores de peso superiores a los de las probetas cerámicas sin aditivo.

Los mayores valores de peso obtenidos en las probetas cerámicas con aditivo se atribuyeron a una menor pérdida de material [Figura 6]. Sin embargo, también se tuvo en cuenta que probablemente las sales cristalizadas en el interior de las probetas habrían aportado al peso de las mismas, lo cual explicaría, a su vez, el aumento de peso de las probetas cerámicas sin aditivo a lo largo del ensayo. En cuanto a la madera, tal y como se puede observar en la gráfica [Figura 5], el comportamiento de ambos grupos (con y sin aditivo) fue prácticamente idéntico desde el inicio, con una pérdida de peso drástica a partir del segundo ciclo. Esto se entendió como que el modificador ATMP no había sido efectivo en estas probetas, probablemente debido a la naturaleza orgánica de la madera. Los bajos valores de peso reflejados en la gráfica se asociaron también a la naturaleza higroscópica del material: debido a esta, la madera tiende a contraerse y dilatarse ante grandes aportaciones de humedad y cambios de temperatura, lo cual a su vez fractura el material, en este caso de manera simultánea a la cristalización de sales. En la Figura 5 se puede observar que, en los últimos ensayos, las probetas de madera sin aditivo superan en términos de peso a las probetas con aditivo. Si bien a priori podría parecer como un resultado radicalmente opuesto al esperado, cabe también la posibilidad de que el aumento de peso en las probetas lógicas sin aditivo se deba casi mayoritariamente al aportado por la cristalización de sales en su interior.

Apenas existen estudios acerca de la degradación por cristalización de sales y el uso de modificadores de la

misma en madera, por lo que sería conveniente continuar el estudio sobre este material para comprender mejor las radicales diferencias de comportamiento observadas.

Al término de SALES 1, se filtraron las soluciones salinas en las que habían estado sumergidas las probetas cerámicas, para recuperar el material liberado o desprendido durante el ensayo. Una vez seco, se pesó y comparó con el peso inicial de las probetas. De la solución salina control, se pesaron 16.854g de fragmentos cerámicos desprendidos y 1.494g totales retenidos en los filtros (en total 18.348g).

En el caso de la solución con ATMP, el peso de los fragmentos desprendidos fue de 12.333g, mientras que el del material retenido en los filtros alcanzó los 0.579g (en total 12.912g),



Figura 6.1.- Estado de conservación de las probetas durante y después del ensayo SALES 1: A) De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: erosión superficial de probeta cerámica con aditivo; disgregación de arista de probeta cerámica con aditivo; fracturación y disgregación de esquinas de probeta cerámica sin aditivo; y oscurecimiento heterogéneo de probeta de madera con aditivo; y B) De izquierda a derecha: fragmentos desprendidos de las probetas cerámicas durante el ensayo de SALES 1, de aquellas sumergidas en la solución salina con y sin ATMP, tras 24 horas de secado al aire libre y la cristalización de sales sobre ellos. Fotografías propias.



Figura 6.1.- Estado de conservación de las probetas durante y después del ensayo SALES 2: A) De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: oscurecimiento de probeta de madera sin aditivo; oscurecimiento e inicio de fracturación de probeta de madera sin aditivo; oscurecimiento de probeta de madera sin aditivo; y formación de eflorescencia salina en los anillos de crecimiento de la probeta de madera sin aditivo; y B) De arriba hacia abajo: probetas de madera con aditivo y en las que se produjo colonización biológica (no se estableció relación entre ambos hechos); y aspecto final de las seis probetas cerámicas empleadas en este ensayo, correspondiéndose las tres más alejadas con el grupo con aditivo y las tres más cercanas con el grupo sin aditivo. Fotografías propias.

todos ellos valores considerablemente menores a los registrados en el caso de las probetas sin ATMP.

El peso medio inicial de las probetas en ambos grupos cerámicos, con y sin ATMP, era de ± 32 g. Por lo tanto, en el grupo de las probetas sumergidas en solución control, el peso total del material disgregado se correspondería aproximadamente con el 57.34% de su peso inicial. En el grupo de las probetas con ATMP, en torno al 40.35%.

Esta cuantificación aproximada de la pérdida del material de las probetas permitió establecer una relación entre la presencia del aditivo y el estado de conservación de los materiales: el aditivo parecía minimizar la cantidad de sales cristalizadas y la pérdida de material que éstas provocan. Estas conclusiones se confirmaron al observar el mismo material disgregado tras 24 horas de secado a temperatura ambiente [Figura 6.1.].

En el ensayo de SALES 2, la pérdida de peso [Figura 7] pareció mayor tras la exposición a menor HR (60%), en la que podría haber aparecido thenardita, de acuerdo con el diagrama de solubilidad del sistema sulfato sódico en agua anteriormente presentado [Figura 3]. A falta de confirmar la fase salina presente, esto se atribuyó al descenso de la humedad, tanto en el ambiente como la absorbida por los materiales, y no a una fase de sulfato más dañina. Cabe mencionar que, en cualquier caso, no parece existir consenso acerca de qué fase resulta más perjudicial: según Steiger y Asmussen (2008:4303), sería la mirabilita; mientras que Granneman et al. (2019:187) sostienen que es la thenardita.

Por otra parte, en las probetas cerámicas, la pérdida de peso fue paulatina y constante, sin pérdidas súbitas, en todos los casos. Apenas hubo diferencias atribuibles al ATMP, excepto, quizá, al término del ensayo: las probetas que habían estado sumergidas con el modificador mantuvieron pesos más elevados en ambas HR en los últimos 5 ciclos, en comparación con sus análogos sin aditivo [Figura 7.C.]. Esta diferencia se asoció a que se habría conservado una mayor cantidad de material como consecuencia de la presencia de ATMP. En el caso de las probetas de madera, no fue posible identificar ninguna mejora derivada del ATMP, de nuevo demostrando un comportamiento opuesto a las probetas cerámicas [Figura 7.A.-7.B.].

— Porosimetría por intrusión de mercurio

Se realizó un análisis de PIM sobre una probeta cerámica inalterada, tal y como se encuentra descrito en el apartado 2.1.4 Porosimetría por intrusión de mercurio (PIM), con el objetivo de comprobar el efecto de la cristalización de sales en el sistema poroso del material por comparación de la muestra, con y sin sales, así como determinar el impacto del aditivo en el daño que las sales causan al sistema poroso del material [Figura 8, Tabla 3].

La primera medida se llevó a cabo sobre una probeta cerámica inalterada, tomada como referencia. En este caso, la porosidad de la cerámica se encontraba en torno al 18,93%, con un diámetro medio de poro de 893 nm y una densidad aparente de 1.923 g/mL [Figura 8].

Los resultados obtenidos indicaron que los fragmentos de probetas con sal presentaron diámetros medios de poro inferiores al de la probeta control, probablemente por la presencia de sales cristalizadas que obstruían los poros. Cabe mencionar que los valores de la probeta con ATMP se

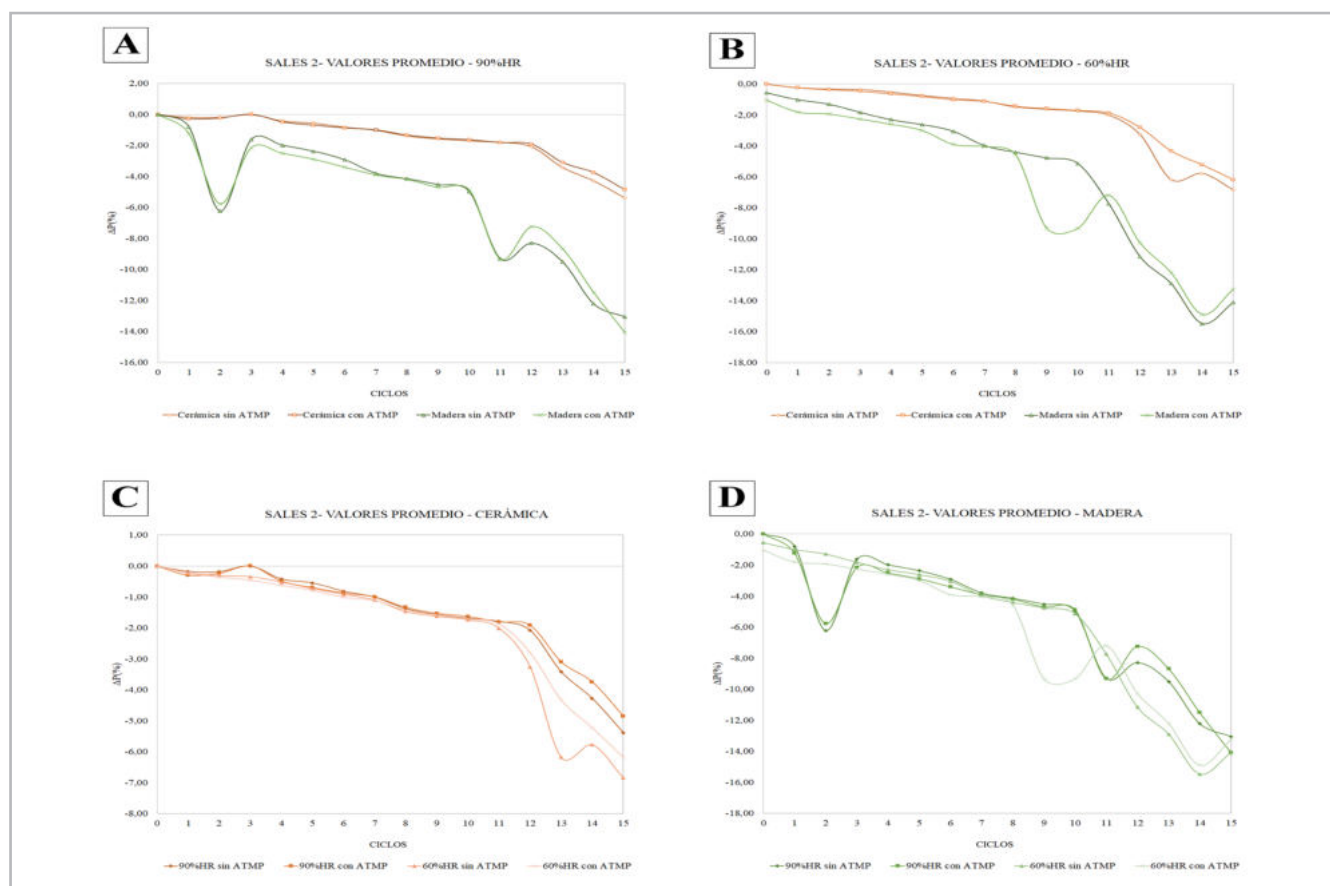


Figura 7.- Valores promedio de pérdida de peso durante el ensayo de cristalización SALES 2 de: A) cerámica y madera en ambiente de 90% HR, con y sin ATMP; B) cerámica y madera en ambiente de 60% HR, con y sin ATMP; C) cerámica en ambientes al 60% y 90% HR, con y sin ATMP; y D) madera en ambientes al 60% y 90% HR, con y sin ATMP. Fuente: elaboración propia.

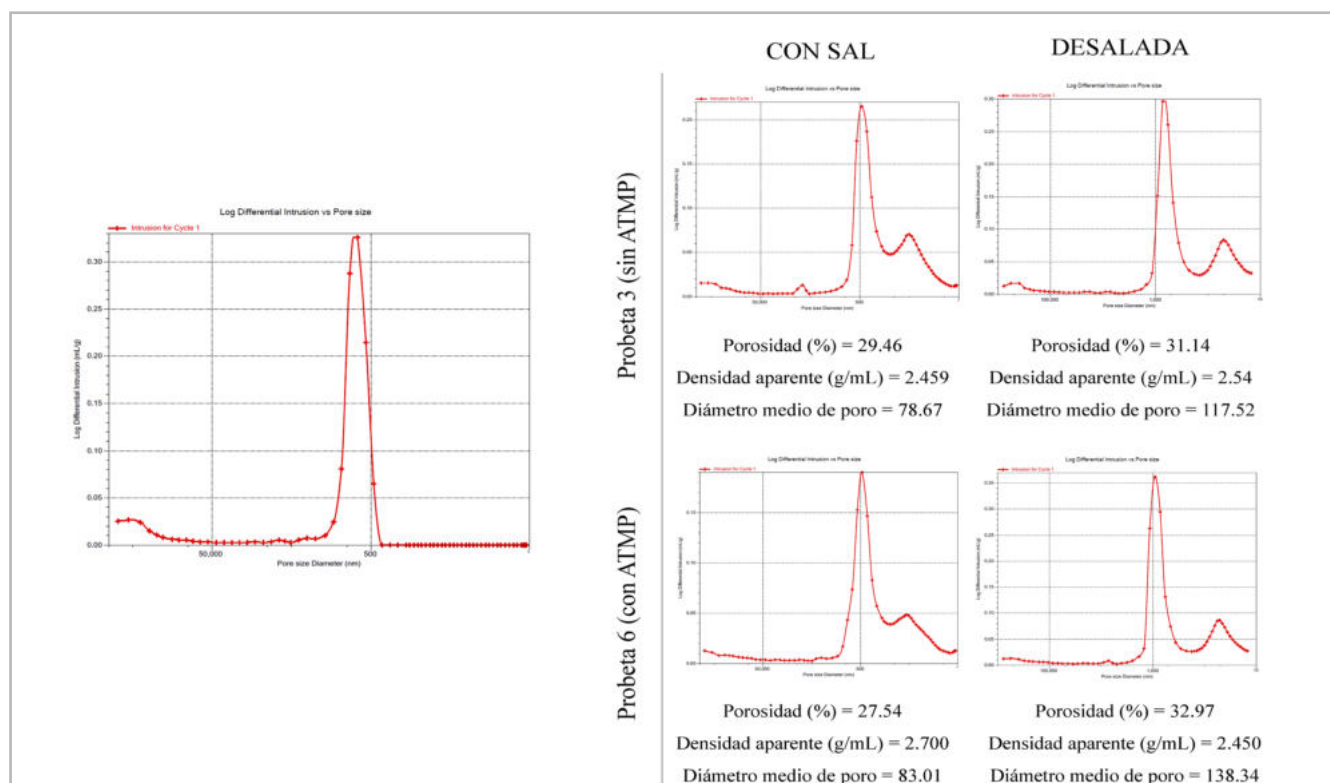


Figura 8.- Arriba, la distribución de tamaño de poro de la probeta inalterada. A la derecha, los datos relativos a las probetas cerámicas alteradas, sin y con aditivo, tanto antes como después de ser desaladas. Fuente: elaboración propia.

mantuvieron más próximos a los de la probeta control, si bien la diferencia fue irrisoria. En el resto de valores contemplados (porosidad y densidad aparente), las probetas alteradas se alejan bastante de los correspondientes a la probeta control, independientemente de la presencia del aditivo y sobre todo después de desaladas [Figura 8]. Por lo tanto, sólo se podría considerar los valores de diámetro medio de poro como indicativo de la efectividad del aditivo para reducir el daño por sales en el sistema poroso, pero sería necesario profundizar en esta línea de investigación ya que los resultados obtenidos no son concluyentes.

Conclusiones

Esta investigación ha recurrido a ensayos normalizados y reproducibles. Por lo tanto, se considera que los resultados obtenidos son precisos, además de que aportan información que abren nuevas preguntas en relación con ámbitos de estudio ya abordados.

Se comprueba que el aditivo ATMP fue efectivo en la reducción de los efectos de las sales en la cerámica debido a su efecto inhibidor en la nucleación de la mezcla de sales estudiadas, pues retrasó el inicio de la cristalización, posibilitando, que se minimizasen o directamente no ocurriesen otras formas de daño, como podría ser la fracturación. Por ello, se plantea como una solución eficaz en el tratamiento para la conservación de materiales arqueológicos expuestos a ambientes salinos, especialmente aquellos inorgánicos, a juzgar por las diferencias observadas entre cerámica y madera. Existe una falta de investigación en relación con este último material y los modificadores de la cristalización de la sal, en la que sería interesante profundizar para definir las diferencias que parecen existir entre soportes orgánicos e inorgánicos frente a estos aditivos.

Agradecimientos

Al Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Granada, por permitir el uso de sus equipos y sus espacios, en el marco del máster en Ciencia y tecnología en patrimonio arquitectónico. De igual manera, al grupo de investigación RNM179 y a la Unidad Científica de Excelencia "Carbonatos" UCE-PP2016-05 por el apoyo prestado.

Referencias

ABU ALHASSAN, Y. (2024). Laboratory investigation of sodium ferrocyanide as a crystallization inhibitor to prevent the destruction of rock-cut monuments in Petra-Jordan due to the attack of salt mixtures. *Egyptian Journal of Archaeological and Restoration Studies*, 14(1): 11-12. <https://doi.org/10.21608/ejars.2024.361168>

AENOR, (2008). Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Determinación de la absorción de humedad a presión atmosférica. UNE EN 13755:2008. Madrid.

AENOR, (2010). Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Determinación de la permeabilidad al vapor de agua (dp). UNE EN 15803:2010. Madrid.

AENOR, (2012). Piedra aglomerada. Métodos de ensayo. Parte 5: Determinación de la resistencia al hielo y al deshielo. UNE EN 14617-5:2012. Madrid.

AENOR, (2016). Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Determinación de las propiedades de secado. UNE EN 16322:2016. Madrid.

AENOR, (2016). Conservación del patrimonio cultural. Extracción y determinación de sales solubles en la piedra natural y materiales afines utilizados en el patrimonio cultural. UNE-EN 16455:2016. Madrid.

AYARZAGÜENA SANZ, M. Y CARNAVAL GARCÍA, D., (2005) Sistemas de explotación de la sal en las Salinas Espartinas en Ayarzagüena, M. y Pucho, O. (editores), *Minería y metalurgia históricas en el sudoeste europeo*, Madrid: Sociedad Española de Historia de la Arqueología, 71-79.

AYARZAGÜENA SANZ, M. (2024a, 20 de febrero) Comunicación personal durante la visita al yacimiento arqueológico de Salinas Espartinas (Ciempozuelos, Madrid).

AYARZAGÜENA SANZ, M. (2024b, 13 de junio) Comunicación personal.

BOLETÍN OFICIAL DE LA COMUNIDAD DE MADRID, (2006). *Decreto 45/2006 de 18 de mayo por el que se declara bien de interés cultural, en la categoría de zona arqueológica "Las Salinas Espartinas" en el término municipal de Ciempozuelos* Nº 122, 2 http://w3.bocm.es/boletin/CM_Boletin_BOCM/20060524_B/12200.PDF [consulta: 20/2/2024]

CARDINALI, F., BRACCIALE, M. P., SANTARELLI, M. L., Y MARROCCHI, A. (2021). Principal Component Analysis (PCA) Combined with Naturally Occurring Crystallization Inhibitors: An Integrated Strategy for a more Sustainable Control of Salt Decay in Built Heritage. *Heritage*, 4(1): 220-229. <https://doi.org/10.3390/heritage4010013>

CASSAR, J., MARROCCHI, A., Y SANTARELLI, M. L. (2008). Control de los daños por cristalización en la caliza de Malta mediante inhibidores de sales. *Materiales de Construcción*, 58: 2-13. <https://doi.org/10.3989/MC.2008.V58.I289-290.83> [consulta: 13/11/2024]

CRESPO-LÓPEZ LÓPEZ, L. (2024) *Wastebrick. Improvement in bricks production by the addition of conventional waste as a breakthrough in the construction industry*. [Tesis Doctoral, Universidad de Granada]. <https://hdl.handle.net/10481/92351> [consulta: 9/4/2024]

CULTRONE, G., SEBASTIÁN, E., ELERT, K., DE LA TORRE, M. J., CAZALLA, O., Y RODRIGUEZ-NAVARRO, C. (2004). Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks. *Journal of the European Ceramic Society*, 24(3): 547-564. [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(03\)00249-8](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(03)00249-8) [consulta: 9/4/2024]

GARCÍA, R. Y VALIENTE, S. (2009) Estudio de las muestras cerámicas documentadas en Salinas Espartinas y de las tierras de su entorno en *La Explotación histórica de la Sal: Investigación y puesta en valor*.

Memorias de la Sociedad Española de la Arqueología II, Madrid: Sociedad Española de la Historia de la Arqueología, 193-206.

GODTS, S., ORR, S. A., STEIGER, M., STAHLBUHK, A., DE KOCK, T., DESARNAUD, J., DE CLERCQ, H., Y CNUUDE, V. (2023). Salt mixtures in stone weathering. *Scientific Reports*, 13(1): 13306. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40590-y>

GODTS, S., STEIGER, M., STAHLBUHK, A., ORR, S. A., DESARNAUD, J., DE CLERCQ, H., CNUUDE, V., Y DE KOCK, T. (2024). Modeled versus Experimental Salt Mixture Behavior under Variable Humidity. *ACS Omega*, 9(18): 20454-20466. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c01486>

GRANNEMAN, S. J. C., LUBELLI, B., Y VAN HEES, R. P. J. (2019). Mitigating salt damage in building materials by the use of crystallization modifiers – a review and outlook. *Journal of Cultural Heritage*, 40: 183-194. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.05.004> [consulta: 13/11/2024]

GROSSI, C. M., Y ESBERT, R. M. (1994). Las sales solubles en el deterioro de rocas monumentales. Revisión bibliográfica. *Materiales de Construcción*, 44(235): 15-30. <https://doi.org/10.3989/mc.1994.v44.i235.579> [consulta: 13/12/2024]

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, (2021). *Salinas Espartinas*. <http://info.igme.es/elig/LIGInfo.aspx?codigo=TM038#situaciongeologica>

INSTITUTO DE PATRIMONIO CULTURAL DE ESPAÑA, (IPCE). (2013). *Proyecto Coremans: Criterios de intervención en materiales pétreos*. Secretaría General Técnica. Subdirección General de Documentación y Publicaciones. <https://doi.org/10.4438/030-13-278-9>

LINNOW, K., STEIGER, M., LEMSTER, C., DE CLERCQ, H., Y JOVANOVIĆ, M. (2013). In situ Raman observation of the crystallization in NaNO₃–Na₂SO₄–H₂O solution droplets. *Environmental Earth Sciences*, 69(5): 1609-1620. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1997-0>

LÓPEZ-ARCE, P. (2012) *Daños por cristalización de sales en La conservación de los geomateriales utilizados en el patrimonio*, Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 97-107. <http://hdl.handle.net/10261/46797> [consulta: 20/5/2024]

LUBELLI, B., Y VAN HEES, R. P. J. (2007). Effectiveness of crystallization inhibitors in preventing salt damage in building materials. *Journal of Cultural Heritage*, 8(3): 223-234. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2007.06.001> [consulta: 3/12/2024]

MAPCARTA (2021) Salinas Espartinas. <https://mapcarta.com/es/N1482406168/Mapa>

MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, J., TORRERO, E., SANZ, D., Y NAVARRO, V. (2021). Salt crystallization dynamics in indoor environments: Stone weathering in the Muñoz Chapel of the Cathedral of Santa María (Cuenca, central Spain). *Journal of Cultural Heritage*, 47: 123-132. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.09.011> [consulta: 3/12/2024]

MENÉNDEZ, B. (2017) Estimation of salt mixture damage on built cultural heritage from environmental conditions using ECOS-RUNSALT model. *Journal of Cultural Heritage* 24: 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.11.006> [consulta: 22/1/2025]

OGUCHI, C.T., Y YU, S. (2021) A review of theoretical salt weathering studies for stone heritage. *Progress in Earth and Planetary Science* 8: 32. <https://doi.org/10.1186/s40645-021-00414-x> [consulta: 22/1/2025]

PETERS, T.; IBERG, R. (1978). Mineralogical changes during firing of calcium-rich brick clays. *Ceramic Bulletin*, 57 (5): 503-509

RODRÍGUEZ-NAVARRO, C., Y DOEHNE, E. (1999). Salt weathering: Influence of evaporation rate, supersaturation and crystallization pattern. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24(3):191-209. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199903\)24:3%3C191::AID-ESP942%3E3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199903)24:3%3C191::AID-ESP942%3E3.0.CO;2-G) [consulta: 3/12/2024]

RODRÍGUEZ-NAVARRO, C., DOEHNE, E., Y SEBASTIAN, E. (2000). Influencing Crystallization Damage in Porous Materials through the Use of Surfactants: Experimental Results Using Sodium Dodecyl Sulfate and Cetyltrimethylbenzylammonium Chloride. *Langmuir*, 16(3): 947-954. <https://doi.org/10.1021/la990580h>

RUIZ-AGUDO, E. M. (2007). Prevención del daño debido a la cristalización de sales en el patrimonio histórico construido mediante el uso de inhibidores de la cristalización. [Tesis Doctoral, Universidad de Granada]. <http://hdl.handle.net/10481/1710> [consulta: 26/2/2024]

RUIZ AGUDO, E., IBAÑEZ-VELASCO, A., RUIZ AGUDO, C., BONILLA-CORREA, S., ELERT, K., Y RODRÍGUEZ-NAVARRO, C. (2024). Damage of porous building stone by sodium carbonate crystallization and the effect of crystallization modifiers. *Construction and Building Materials*, 411: 134591. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134591>

SCHIRO, M., RUIZ-AGUDO, E., Y RODRÍGUEZ-NAVARRO, C. (2012). Damage Mechanisms of Porous Materials due to In-Pore Salt Crystallization. *Physical Review Letters*, 109(26): 265-503. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.109.265503> [consulta: 18/6/2025]

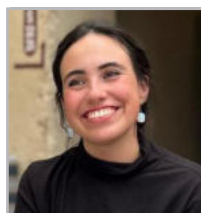
STEIGER, M., Y ASMUSSEN, S. (2008). Crystallization of sodium sulfate phases in porous materials: The phase diagram Na₂SO₄–H₂O and the generation of stress. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(17):4291-4306. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.05.053> [consulta: 1/5/2025]

VALIENTE, S.; GEA, A.; LÓPEZ, J. F. Y AYARZAGÜENA, M., (2003) *Algunos datos sobre cestería y fibras vegetales aplicadas a vasijas en barro de la Edad de Bronce en las Salinas Espartinas* (Ciempozuelos, Madrid), en *Revista Pátina Dic. 2003 época II*, 12: 101–105.

VAVOURAKI, A. I., Y KOUTSOUKOS, P. G. (2015). The inhibition of crystal growth of mirabilite in aqueous solutions in the presence of phosphonates. *Journal of Crystal Growth*, 436: 92-98. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2015.11.044>

WANG, Y., Y ZHANG, H. (2023). The synergic impacts of salt mixture and frost damage on rock decay: Implications for the deterioration of rock-hewn heritages. *Heritage Science*, 11(1): 209. <https://doi.org/10.1186/s40494-023-01054-8>

WEATHERSPARK (2024) Ciempozuelos <https://weatherspark.com/y/36904/Average-Weather-in-Ciempozuelos-Spain-Year-Round>

Autor/es

Blanca Zarzalejos Vicens
blanca.zarzalejos@estudiante.uam.es
 Universidad Autónoma de Madrid
<https://orcid.org/0009-0008-4063-1460>

Graduada en Conservación y Restauración de Bienes Culturales en la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Madrid, se especializó en Bienes Arqueológicos, iniciándose en la conservación del patrimonio inmueble. Continuó su formación en el máster en Ciencia y Tecnología en Patrimonio Arquitectónico de la Universidad de Granada, en el que se centró específicamente, a través del Trabajo de Fin de Máster, en la cristalización de sales en materiales porosos y los problemas de conservación que de ella derivan. Con el afán de continuar esa investigación, por considerarla verdaderamente útil, está actualmente matriculada en el programa de doctorado de Química Aplicada de la Universidad Autónoma de Madrid, en el departamento de Geología y Geoquímica de la Facultad de Ciencias bajo la co-dirección de los Drs. Miguel Gómez-Heras y Encarnación Ruiz-Agudo. Ha participado, además, en intervenciones de conservación y restauración sobre bienes inmuebles, históricos y arqueológicos, con la empresa ARTYCO, S.L., en el Patronato de la Alhambra y Generalife y en equipos interdisciplinares como, por ejemplo, el que constituye el Proyecto Djehuty en Luxor (Egipto), dirigido por Dr. José Manuel Galán (CSIC). Ha realizado una estancia en el Centro per la Conservazione e Restauro La Venaria Reale y en el Museo Egizio, ambos en Turín (Italia) con la beca de movilidad Erasmus+.



Encarnación María Ruiz Agudo
encaruiz@ugr.es
 Universidad de Granada
<https://orcid.org/0000-0003-1292-4000>

Encarnación Ruiz Agudo es Ingeniera Química por la Universidad de Granada (2003) e Ingeniera Técnica Industrial por la Universidad de Jaén (2006). Obtuvo su doctorado en el programa de Ciencias de la Tierra de la UGR (2007) y realizó una estancia posdoctoral Marie Curie (2009-2011) en el grupo del Prof. Andrew Putnis. Ha sido investigadora Ramón y Cajal (2012-2016), profesora titular (2016-2023) y, desde julio de 2023, catedrática de Cristalografía y Mineralogía en el Departamento de Mineralogía y Petrología de la UGR. Su investigación se centra en procesos de disolución, crecimiento y reemplazo mineral, así como en la influencia de compuestos orgánicos, utilizando técnicas in situ como microscopía de fuerza atómica (AFM). Estas investigaciones tienen aplicaciones en conservación del patrimonio, industria del cemento, biomineralización y captura de CO₂ mediante mineralización carbonatada, línea en la que posee dos patentes. Ha liderado 10 de los 23 proyectos en los que ha participado (financiación total como IP: 1.617.409 €), con resultados publicados en 99 artículos científicos (índice H: 43, más de 5600 citas). Su trabajo ha sido reconocido con premios como la Medalla a la Excelencia Investigadora de la Unión Mineralógica Europea (2014) y el Arne Richter Award de la EGU (2012). Ha dirigido 4 tesis doctorales (y 4 más en curso), 16 trabajos de fin de máster, y ha contratado investigadores y técnicos en el marco de proyectos competitivos. Colabora con empresas nacionales e internacionales y es

coautora de 4 patentes. Ha desempeñado tareas de gestión académica y coordinación de movilidad internacional, además de enseñar más de 1400 horas en todos los niveles universitarios. También participa activamente en actividades de divulgación científica como Geología y la Semana de la Ciencia.



Sarah Bonilla Correa
sbonila@ugr.es
 Universidad de Granada
<https://orcid.org/0000-0001-9010-5831>

Geocientífica con formación en la Universidad de los Andes (Colombia), donde comenzó su carrera investigadora en geología ígnea y geocronología, participando en la creación de la Colombian Geochronological Database. Amplió su experiencia en la Johannes Gutenberg-Universität de Mainz (Alemania), donde se especializó en técnicas como SEM y microsonda electrónica. Posteriormente, trabajó como asistente de investigación en Colombia, colaborando en estudios geológicos en Galápagos y Gorgona. Obtuvo un Máster en Geología Aplicada (GEOREC) y otro en Ciencia y Tecnología del Patrimonio Arquitectónico (CITPA), ambos por la Universidad de Granada (UGR). Desde entonces, ha trabajado como técnica en el Departamento de Mineralogía y Petrología, integrando cinco proyectos sobre mineralogía ambiental, biomineralización y conservación del patrimonio. Ha desarrollado competencias en una amplia gama de técnicas analíticas avanzadas (DRX, FTIR, Raman, SEM, TEM, AFM, entre otras). Actualmente realiza su doctorado en la UGR, centrado en la transformación del carbonato de calcio amorfo y su impacto en la transferencia isotópica, bajo la dirección de las Ruiz-Agudo y María P. Asta. Ha realizado estancias en las universidades de Utrecht y Konstanz, así como análisis avanzados gracias al acceso competitivo a infraestructuras del proyecto europeo EXCITE, en Potsdam y Cambridge. Además, gestiona equipamiento y forma usuarios en el Laboratorio de Geoquímica de Baja Temperatura (UGR), y ha co-mentorizado cinco trabajos de fin de máster. Participa activamente en la divulgación científica y ha sido ponente invitada en eventos internacionales. En 2021 lideró un proyecto sobre microplásticos en los arrecifes coralinos del Caribe colombiano como investigadora principal.



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1451>



II JORNADAS DE INVESTIGADORES JÚNIOR EN PATRIMONIO

Ge-conservación
Conservação | Conservation

Jornadas JIP - 2, 3 y 4 de abril de 2025

La conservación del patrimonio científico-técnico del CSIC

Marta Onrubia Chinarro, Susana Bartolomé Santos y María Teresa Molina

Resumen: El Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) conserva un singular patrimonio de instrumentación científica de un gran valor histórico, científico y tecnológico. Desde hace diez años, este organismo ha implementado un Plan Institucional (ICLIH) para la recuperación de este tipo de colecciones. Estos bienes, por su antigüedad, sus singularidades técnicas y su diversidad material suponen una gran dificultad a la hora de enfrentarse a su conservación o restauración. Por tanto, el objetivo de este trabajo es analizar los principales retos que plantea la conservación del patrimonio científico-técnico a partir de experiencias desarrolladas en el marco del Plan ICLIH y del Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN), sugiriendo criterios y reflexiones que contribuyan a la futura elaboración de protocolos específicos. La investigación se centra en la complejidad material de estos objetos, en la dimensión inmaterial asociada a su funcionalidad y contexto científico, siendo necesario un consenso común por parte de todos los profesionales vinculados a este patrimonio, sentado en las bases de nuevos estudios y criterios de conservación-restauración definidos y esenciales para asegurar su perdurabilidad y su puesta en valor.

Palabras clave: Patrimonio científico-técnico, conservación-restauración, historia de la ciencia, instrumentos científicos históricos, restauración de metales, conservación inmaterial, divulgación

The conservation of the CSIC's scientific and technical heritage

Abstract: Spanish National Research Council (CSIC) preserves a unique heritage that includes scientific instrumental of historical, scientific and technological value. For the last ten years, this organization has initiated an Institutional Plan (ICLIH) for the recuperation of this type of collections. These instruments represent a great issue about their conservation and restoration due to their age, technical singularities and diversity of materials. Therefore, the aim of this work is to analyse the main challenges posed by the conservation of scientific and technical heritage based on experiences developed within the framework of the ICLIH Plan and the National Museum of Natural Sciences (MNCN), proposing criteria and reflections that contribute to the future development of specific protocols. The research focuses on the material complexity of these objects and the intangible dimension associated with their functionality and scientific context, requiring a common consensus among all professionals involved in this heritage, based on new studies and defined conservation-restoration criteria that are essential to ensure its permanence and recognition.

Keywords: Scientific and Technical Heritage, Conservation-Restoration, History of Science, Historical Scientific Instruments, Metal Restoration, Intangible Heritage Conservation, Science Communication and Outreach

Introducción

El patrimonio científico-técnico es el conjunto de bienes que materializan la historia, la evolución y práctica de la ciencia, y son testimonio de los avances tecnológicos asociados a esta. Abarca objetos de extensa tipología como lo son todos los instrumentos científicos, donde nos encontramos microscopios, balanzas, barómetros, osciloscopios, etc. pero también prototipos experimentales, modelos didácticos, laboratorios completos, así como todo tipo de documentación relacionada como manuscritos, manuales técnicos, muestras y preparaciones, fotografías

o archivos digitales (Pacheco Muñoz 2007). Este conjunto de bienes evidencia los diversos paradigmas, modelos de comprensión y contextos institucionales que han configurado la producción de conocimiento. Gracias a este testimonio material podemos ver el progreso científico y tecnológico, analizar y contextualizar la historia de las instituciones científicas, su evolución organizativa y política, conocer cómo se concebía y producía el conocimiento o la construcción de identidades profesionales (Newey 2000).

La conservación, restauración y puesta en valor del patrimonio científico-técnico, puede considerarse como

una especialidad reciente si lo comparamos con otras áreas del patrimonio cultural, lo que genera una gran dificultad a la hora de basarse en protocolos, metodologías y criterios generales de conservación-restauración. Este hecho se ve agravado por su singularidad funcional (ya que estos objetos fueron creados para tener un uso y no solo con fines estéticos), su contexto y aspectos inmateriales, así como por los desafíos científicos y técnicos que plantea su conservación, especialmente derivados de la heterogeneidad de materiales presentes en un mismo instrumento (Lemos & Tissot 2020). Tales características convierten a estos bienes en un campo emergente dentro de la conservación-restauración, exigiendo enfoques interdisciplinares, metodologías específicas y el consenso de la comunidad de profesionales para sentar las bases de la futura conservación de los objetos tecnológicos actuales.

Desde hace décadas, y desde distintos ámbitos, se señala la necesidad de estudiar, conservar y exponer los objetos científico-técnicos como muestra de la historia de las naciones, sus instituciones científicas y las personas que desarrollaron la ciencia. Siendo a partir de la década de los 90, cuando gracias a la colaboración de perfiles profesionales muy transversales (Keene 2000), se comenzaron a organizar eventos como el workshop “The restoration of scientific instruments” (1998, Museo de Historia de la Ciencia, Florencia), y a constituir formalmente nuevos museos estatales como el Nacional de Ciencia y Tecnología (MUNCYT) o el Nacional de la Ciencia y la Técnica de Cataluña (MNACTEC) (Jiménez-Albarrán & Bande-Fuentes 2013; Gual 2016), así como a la formación de colecciones específicas como las pertenecientes al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

El CSIC conserva un amplio y variado instrumental científico, que constituye colecciones científico-técnicas propias localizadas en los distintos centros de investigación. El Plan de recuperación y conservación de Instrumentos Científicos y Laboratorios de Interés Histórico (Plan ICLIH) implementado en el CSIC lleva desde el 2014 realizando tareas de localización, estudio, conservación y difusión de este patrimonio, intentando llegar a todos los centros distribuidos por toda la geografía española. Para ello colabora con profesionales de distintas disciplinas que ayudan a superar el reto del elevado, disperso y complejo volumen de piezas (Moreno Gómez 2019).

Con este artículo, proponemos concienciar de la importancia de la conservación y restauración del patrimonio científico-técnico, clave para entender la historia de la ciencia en España, utilizando para ello casos prácticos llevados a cabo en el desarrollo del Plan ICLIH y en el Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN). Estos ejemplos contribuirán a la futura elaboración de protocolos, criterios o metodologías en cuanto a la intervención de este tipo de objetos. Por tanto, el objetivo específico es contribuir al campo de la conservación-restauración de las colecciones científico-técnicas reflejando los distintos

retos a los que se enfrentan, ejemplificando las distintas problemáticas presentes y planteando nuevas preguntas que podrán derivar en nuevas vías de investigación para lograr avances en la preservación del patrimonio científico-técnico.

La colección científico-técnica del CSIC

El CSIC es el mayor organismo de investigación pública de España y una de las instituciones más destacadas dentro del Espacio Europeo de Investigación. El patrimonio científico-técnico que conserva en sus 121 institutos, está estrechamente vinculado al trabajo desarrollado por los grupos de investigación de los centros. Un ejemplo de centro con una gran riqueza de objetos científico-técnicos es el MNCN, uno de los museos de historia natural más antiguos del mundo. Desde su fundación en 1711 por Carlos III como Real Gabinete de Historia Natural, ha ido conformando colecciones científicas a través de expediciones, recolecciones, adquisiciones y donaciones, conservando fondos de especial relevancia repartidos en más de 20 colecciones. Una de ellas es la colección de Instrumentos Científicos Históricos (ICH), constituida por objetos de estudio, observación y enseñanza de las ciencias naturales en España la cual integra piezas utilizadas para recolectar, preparar, observar, documentar y analizar especímenes zoológicos y geológicos desde el siglo XVIII hasta nuestra época (Osuna Arias *et al.* 2022). Esta colección destaca tanto por su antigüedad como por estar vinculada con el resto de colecciones del MNCN, ya que se formó a partir de instrumentos que empleaban los propios investigadores y técnicos en sus tareas. La configuración de la colección nos habla también de la historia de la institución, pues gran parte está integrada por instrumentos de los siglos XIX y XX que proceden del museo o de otros centros con los que ha estado vinculado, como el Instituto Lucas Mallada de Investigaciones Geológicas o el Instituto Español de Entomología.

El primer proyecto de recuperación de instrumental científico histórico del CSIC surge en el año 1994, con un equipo multidisciplinar (formado por una historiadora, un ingeniero y un restaurador). Esta iniciativa partió con la revisión del instrumental del MNCN, donde se documentaron cerca de 125 piezas. En el momento de realizar el inventario la situación del instrumental científico era poco alentadora debido al estado de abandono en el que se encontraba. En 1986 ya se había realizado un inventario preliminar y en ese proceso se evidenció la dificultad para identificar los aparatos, agravada por el mal estado en el que se encontraban muchos de ellos, desguazados o incompletos (Moreno *et al.* 1996).

Este trabajo de catalogación se extendió a seis centros del CSIC, representó una perspectiva pionera en lo que respecta a la conservación y puesta en valor del patrimonio científico y definió la metodología de silgado



Figura 1.- Laboratorio "Enrique Moles" del IQF-CSIC. En primer plano se puede ver la balanza de precisión (3A066) utilizada por E. Moles junto al resto del mobiliario original. Fotografía: Moreno Gómez.

para las colecciones del CSIC que se sigue manteniendo. A partir de estos trabajos se hicieron evidentes las relaciones entre los objetos y las contribuciones científicas en las que habían estado presentes, aportando datos relevantes para la historia de la ciencia y dando a conocer una importante fuente material e inmaterial donde se conservan y transmiten conocimientos de uso, avances, técnicas y explicaciones didácticas apoyadas de forma empírica en el funcionamiento de los instrumentos.

El Plan ICLIH además de la catalogación y conservación-restauración, ha colaborado en proyectos expositivos, como la musealización del Laboratorio Histórico "Enrique Moles" [Figura 1] con motivo del 90 aniversario del Instituto Nacional de Física y Química (INFQ). Entre otros objetos, en este espacio podemos identificar varios galvanómetros originales del antiguo Laboratorio de Investigaciones Físicas (LIF), perteneciente a la Junta para la Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (JAE). El LIF estaba situado en el Palacio de las Artes y la Industria, donde compartía ubicación junto con el MNCN (actual sede) y con el Laboratorio de Automática de Leonardo Torres Quevedo. En la recreación del laboratorio, además de la precisión histórica del mobiliario y el color original de las paredes, se ha querido hacer un homenaje a Enrique Moles, del cual se conserva una balanza de gran sensibilidad utilizada para la determinación de pesos atómicos por el método de densidades límite. (Moreno *et al.* 2022)

Asimismo, el Plan ICLIH promueve las exposiciones permanentes en los centros, donde la historia de los institutos se materializa a través de los distintos instrumentos. Muestra de ello es el Instituto de Tecnologías Físicas y de la Información "Leonardo Torres Quevedo" (ITEFI), que heredó instrumental, personal y funciones en



Figura 2.- a) Muestra de la exposición permanente en el hall ITEFI. Fotografía: S. Bartolomé. b) Electroscopio de Curie-Cheneveau-Laborde (4A002). Fotografía: E. Moreno Gómez.

el Laboratorio de Automática mencionado anteriormente. En este instituto se conservan más de 120 instrumentos, entre los que destacan dos electroscopios diseñados por A. Cheneveau y A. Laborde en 1908 [Figura 2b], basándose en los principios de Pierre Curie para la medición de la radiactividad, y que son la base de la identificación visual y logotipo del Plan ICLIH.

En el ITEFI, se expone además una pequeña muestra de la gran producción que tuvieron los talleres del Instituto de Física Aplicada (IFA) [Figura 3a], de los cuales salieron los instrumentos utilizados en la mayoría de los centros del CSIC y de muchos de los centros de enseñanza españoles. Un ejemplo de ello son las resistencias variables de cursor, instrumentos robustos y sencillos que se encuentran repartidos por los almacenes de muchos institutos [Figura 3b].



Figura 3.- a) Fotograma de los antiguos talleres del ITEFI. Fuente: RTVE. b) Resistencia variable de cursor realizada en los talleres IFA (8B016) Fotografía: S. Bartolomé.

En cuanto a las tareas de difusión llevadas a cabo por el Plan ICLIH destaca el “Museo Virtual de la Ciencia del CSIC” una plataforma digital dedicada a la divulgación científica, donde se presentan colecciones tematizadas por institutos, con más de 800 entradas de instrumentos históricos (Moreno Gómez 2025). Cuenta con recursos para profesores, enlaces sobre patrimonio científico-técnico y otros enlaces de interés que contribuyen a la valorización y acercamiento por parte de la sociedad a este tipo de colecciones. En el marco de este plan también se está haciendo hincapié en la comunicación y transferencia de las actividades y resultados a profesionales de la conservación y restauración por medio de comunicaciones a congresos, realización de prácticas externas de estudiantes de grado/máster o publicaciones en revistas especializadas con la intención de llegar a un mayor número de personas que a su vez puedan contribuir al desarrollo de un consenso en la conservación del patrimonio científico-técnico.

Problemáticas de conservación y restauración

Los instrumentos científicos son objetos concebidos y adquiridos por su utilidad, precisión y adaptabilidad a las necesidades experimentales de la investigación, en un marco temporal y para unas líneas de investigación concretas. Sin embargo, los cambios en el paradigma científico y, sobre todo, los avances tecnológicos, propician una renovación de estos objetos sustituyéndolos por otros más útiles y precisos.

Si bien el avance tecnológico del siglo XIX, era un ejercicio de renovación asumible en términos de gestión y almacenaje, el desarrollo tecnológico a partir de la década de 1950 supone un desafío para las instituciones, ocasionando a veces el descarte de bienes de gran valor por simple desconocimiento de lo que son.

Este patrimonio puede valorarse según su importancia histórica, científica, técnica, económica y didáctica (Moreno Gómez 2019). En algunas instituciones como el CSIC, tanto en el proceso de registro como patrimonio histórico de los instrumentos, como en la gestión de ingresos por donación o para la realización de seguros en préstamos expositivos, es necesario realizar una valoración económica. Esta valoración enfatiza aún más el desconocimiento de este patrimonio por parte de las instituciones y del público en general, ya que, pese a que su valor patrimonial es mayormente intangible y cualitativo, la elevada cuantía económica en la que pueden valorarse los bienes termina siendo un aspecto de asombro por parte de sus custodios. Un ejemplo de ello son las cámaras fotográficas del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETCC). [Figura 4]



Figura 4.- a) Cámaras fotográficas y sus accesorios en exposición permanente en el IETCC. Fotografía: S. Bartolomé. b) Cámara Linhof Technika, IETCC (8A011) Fotografía: E. Moreno Gómez.

Por otra parte, una vez perdido su valor técnico-funcional, el destino de estos bienes suele ser el almacenamiento, en muchos casos inadecuado, con la consecuente pérdida de información, descontextualización del objeto y su progresivo deterioro, suponiendo en los casos más adversos su destrucción parcial o total. Sin embargo, también nos encontramos que algunos instrumentos se han conservado y expuesto como elemento decorativo en espacios de prestigio, prueba de que su aspecto estético también es valorado, como es el caso de una lámpara de arco voltaico catalogada en los años 90 y expuesta en el despacho de Dirección del MNCN (ICH.0101). A finales de 2020, tras la restauración de una linterna mágica o proyector de finales del siglo XIX (ICH.0322) pudieron asociarse ambas piezas fabricadas por la casa francesa Darlot, ya que la lámpara de arco voltaico era la fuente de iluminación original del aparato. Además, fotografías conservadas en el archivo del museo ofrecieron más contexto sobre la historia del objeto, ya que en ellas aparecía el aparato modificado y en uso a mediados del siglo XX, con una fuente de iluminación eléctrica (Osuna Arias *et al.* 2021) [Figura 5].

No obstante, las principales problemáticas en la conservación del patrimonio científico-técnico radican en

sus características intrínsecas, la diversidad de materiales en los que están fabricados y sus aspectos funcionales, por lo que antes de abordar su restauración, hay que tener en cuenta algunas cuestiones que ilustramos con algunos casos prácticos.

— Materiales de fabricación

Los metales representan uno de los materiales más utilizados en la fabricación de instrumental científico debido a sus propiedades de resistencia y durabilidad. Los más utilizados son las aleaciones de hierro y cobre, especialmente el acero y el latón (Barclay 1993a, 1993b). El acero solía ser utilizado en zonas de los objetos sometidas a grandes tensiones, en ejes o elementos de sujeción por su mayor dureza y resistencia, mientras que el latón se usaba en las partes más ornamentales y visibles del objeto por su ductilidad y maleabilidad, ya que permite doblarse, cortarse, laminarse, etc. sin perder resistencia, además de ser de bajo coste. Normalmente, en el patrimonio metálico, las pátinas y productos de corrosión no activos formados con el paso del tiempo suelen ser respetados ante una intervención debido a que habitualmente son

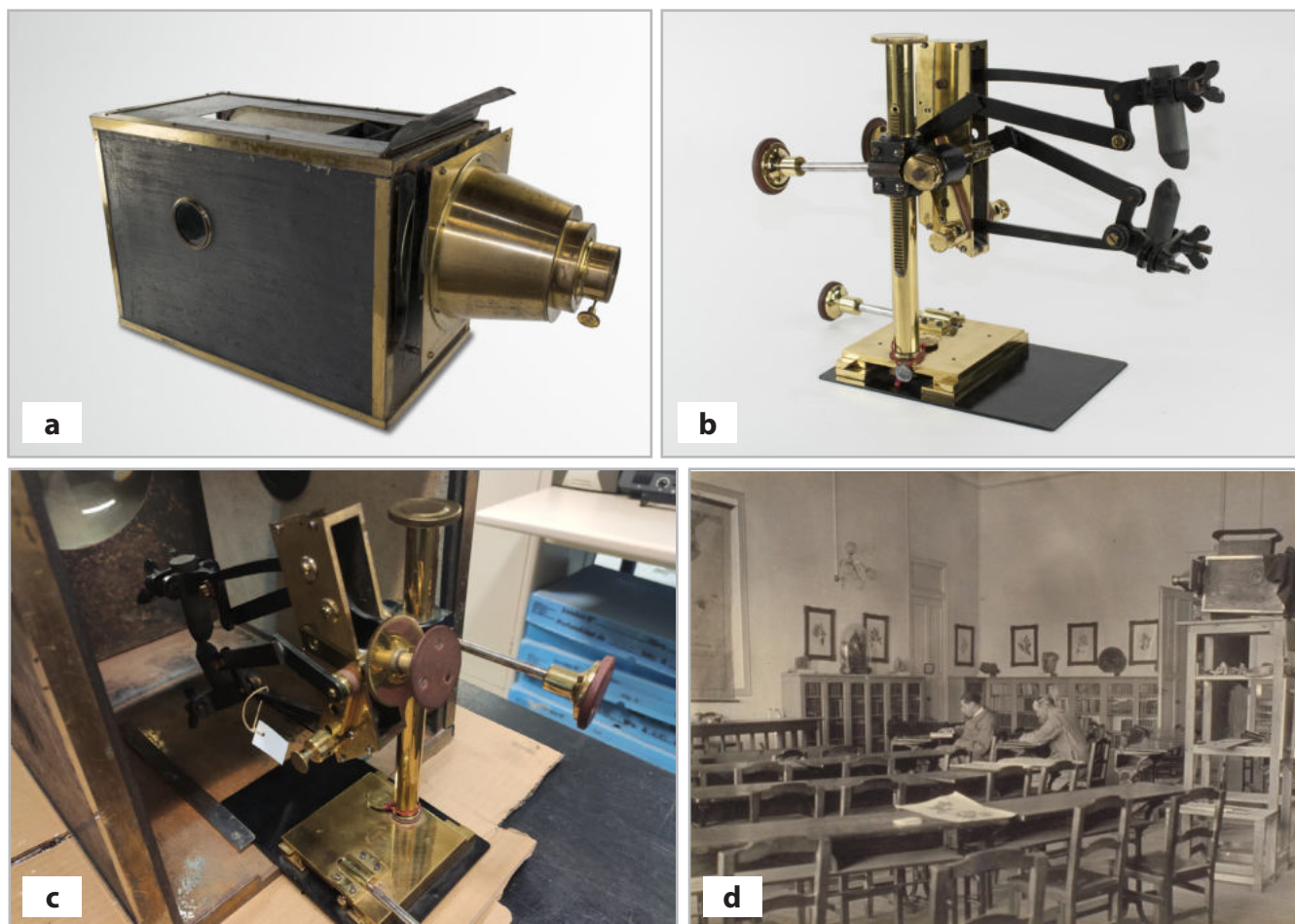


Figura 5.- a) Linterna mágica de proyección tras la restauración (ICH.0322). Fotografía: J. Muñoz . b) Lámpara de arco voltaico. (ICH.0101) Fotografía: J. Muñoz. c) Montaje de la lámpara y la linterna durante los trabajos de restauración. Fotografía: M. Onrubia. d) Fotografía histórica de la linterna en uso. Fuente: Archivo MNCN (A1-6 nº8704).

capas no perjudiciales para el bien cultural (Watkinson 2010). Sin embargo, en patrimonio científico-técnico, nos encontramos con capas de corrosión que no recubren por completo y se encuentran tanto encima como debajo de las capas de recubrimiento o pintura. [Figura 6]

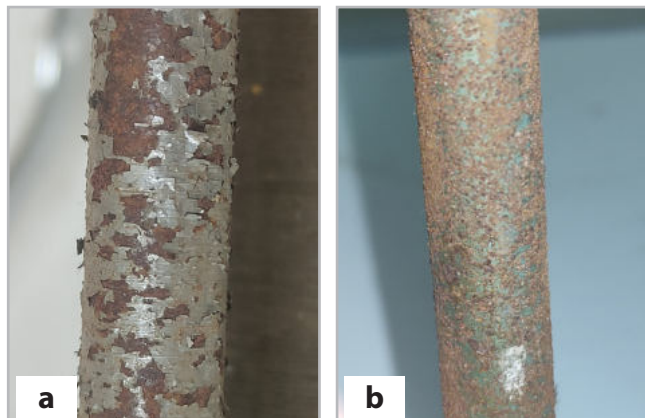


Figura 6.- a) Detalle del proceso de corrosión debajo del recubrimiento exterior. b) Detalle de corrosión sobre pintura. Fotografías: S. Bartolomé.

La no intervención, supondría asumir una pérdida mayor de la que nos encontramos en el presente de la pieza, especialmente de los acabados metalizados o del brillo pulido de origen del instrumento, mientras que la eliminación de esas capas de corrosión supone ir en contra del criterio de mínima intervención y la pérdida de patina histórica. Pero, la eliminación de la corrosión ¿podría aumentar la perdurabilidad de otros componentes o zonas de un mismo material todavía no afectados? Esta falta de conocimiento y protocolos de intervención ha propiciado que en algunas ocasiones se hayan llegado a perder marcas o huellas de uso, pátinas y material original relevante para la historia del objeto, fruto de una limpieza y eliminación de las capas de corrosión excesiva por el afán de recuperar esa apariencia original del objeto (Lemos & Tissot 2020). Ante esta dicotomía donde lo más importante es tener en cuenta el tipo de objeto y el metal antes de proceder a la intervención, lo ideal en todos los casos sería aplicar un método de barrera ante el medio de exposición y los objetos y así poder frenar la corrosión a lo largo del tiempo. Para ello, acudiríamos a métodos de conservación curativa a partir de la aplicación de recubrimientos protectores, sin embargo, aunque existen estudios recientes, todavía falta mucha investigación en cuanto a soluciones directas para este tipo de patrimonio, especialmente centradas en conseguir cumplir los criterios de conservación-restauración en los casos más específicos como que los objetos estén en funcionamiento (Molina *et al.* 2023).

No obstante, la conservación preventiva sigue siendo nuestra principal aliada a la hora de retardar los procesos de envejecimiento y la oxidación del metal, controlando el almacenamiento y las condiciones de humedad y temperatura. Una problemática constante en la mayoría de los instrumentos con partes metálicas es la presencia de varios

metales de distinta naturaleza, y por tanto, con un potencial de corrosión diferente que al estar en contacto en un mismo bien puede provocar un proceso de corrosión galvánica. Un ejemplo claro se encuentra en la mayoría de los tornillos o clavos que encontramos en el patrimonio científico-técnico, los cuales suelen ser de acero (galvanizado o no). Estos tornillos, al estar en contacto con otro metal representativo de estas colecciones, como el latón o aleaciones de cobre, comienzan a corroerse de forma localizada en presencia de humedad [Figura 7].



Figura 7.- Detalle de tornillos oxidados en un refractómetro total del s.XIX. Museo Geominero (N052). Fotografía: S. Bartolomé

La presencia de otros materiales en estos bienes más allá del metal también puede acelerar los procesos de degradación: es habitual encontrar madera formando soportes de sujeción, carcasas externas y esencialmente cajas de almacenamiento y transporte. Al ser un material higroscópico, los movimientos del material al reaccionar de forma natural a los cambios de humedad del ambiente pueden ocasionar grietas, deformaciones o la separación del resto de componentes, propiciando espacios donde se produzca acumulación de suciedad, aumentando la concentración de humedad y originando la oxidación de componentes metálicos.

Asimismo, la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COVs), como los ácidos orgánicos, o el formaldehído, generan ambientes desfavorables que propician nuevos procesos químicos que provocan la corrosión y cambios en la apariencia estética de los metales (Gibson & Watt 2010). Estos

aspectos se deben tener en cuenta para su almacenamiento, siendo recomendables medidas como la evaluación regular del ambiente por métodos asequibles (Molina *et al.* 2025), mantener ventilados los objetos o conservar por separado sus componentes según la tipología material, pero corriendo el riesgo de que por ejemplo al desvincular algún objeto de su caja original, se pierda información histórica de éste. Tenemos que tener en cuenta que solo 8 de los 121 centros del CSIC son museos o casas de las ciencias, dedicados a la exposición y difusión del patrimonio, contando con recursos y conocimientos sobre conservación y espacios destinados a un almacenaje con condiciones controladas. Mientras que, en el resto de Institutos es el personal investigador, técnico y de administración, quienes velan de forma voluntaria por la salvaguarda de estas colecciones. Este personal muchas veces carece de formación especializada en conservación, pero tiene gran sensibilidad y en ocasiones vínculos directos con algunos de los objetos.

Además del metal, otro material muy representativo en estas colecciones son los plásticos. A mediados del siglo XX se introdujeron plásticos sintéticos como la baquelita, el PVC, polipropileno o metacrilato en la fabricación de instrumental científico, reemplazando en algunos casos a la madera, metal y vidrio por su ligereza y bajo coste. Los polímeros que los conforman, suponen un nuevo reto para la conservación, al igual que ocurre en el arte contemporáneo (Lazzari & Reggio 2021), ya que estos materiales son mucho más complejos de discernir en un examen organoléptico, necesitando mayor inversión económica para su caracterización, monitorización y evaluación de su degradación con el paso del tiempo. Un caso habitual en patrimonio científico-técnico es encontrarnos dentro de las cajas de madera que contienen instrumentos o sus accesorios, polímeros expandidos como el poliestireno, recubriendo los instrumentos metálicos para evitar daños en su transporte. Un ejemplo práctico que

señalamos es la colección de platinas que alberga el Museo Geominero, en las cuales nos encontramos con una de estas espumas plásticas de color negro disgregadas y parcialmente adheridas a la platina [Figura 8].

Por la naturaleza química y el proceso de creación de este tipo de materiales, se ha demostrado que estos tipos de plásticos pueden emitir COVs (Lattuati-Derieux *et al.*, 2013) por lo que podrían estar concentrándose en el interior de éstas si se mantienen cerradas. Además, se desconoce cómo su estructura porosa puede influir en la acumulación de suciedad y en la concentración de humedad relativa en un entorno cerrado, además de cómo reaccionarán químicamente con el resto de materiales en un futuro. Por lo que la eliminación de este material original ayudaría a la conservación del instrumento, sin embargo, no en todos los casos se encuentra degradado de la misma forma. Si conservamos aquellos que se encuentran en mejor estado necesitarían una revisión periódica y una capa barrera de material de conservación que tuviera una función preventiva para evitar el contacto con el metal de la platina. Al hacer esto ¿estamos asumiendo un riesgo para la pieza al conservar todos los materiales originales? ¿Existe alguna forma de evitar la disgregación/rotura de estos materiales, manteniendo sus características plásticas? Pero asumiendo que este material cumple una función protectora, entonces ¿debemos sustituirlo por otro material? ¿Tenemos la certeza de que las espumas expandidas neutras de las que disponemos actualmente en el mercado se van a degradar con menor o mayor rapidez?

— El valor funcional

El hecho de que estos objetos hayan sido concebidos para un uso concreto nos hace plantearnos otra serie de cuestiones técnicas y éticas en cuanto a las intervenciones

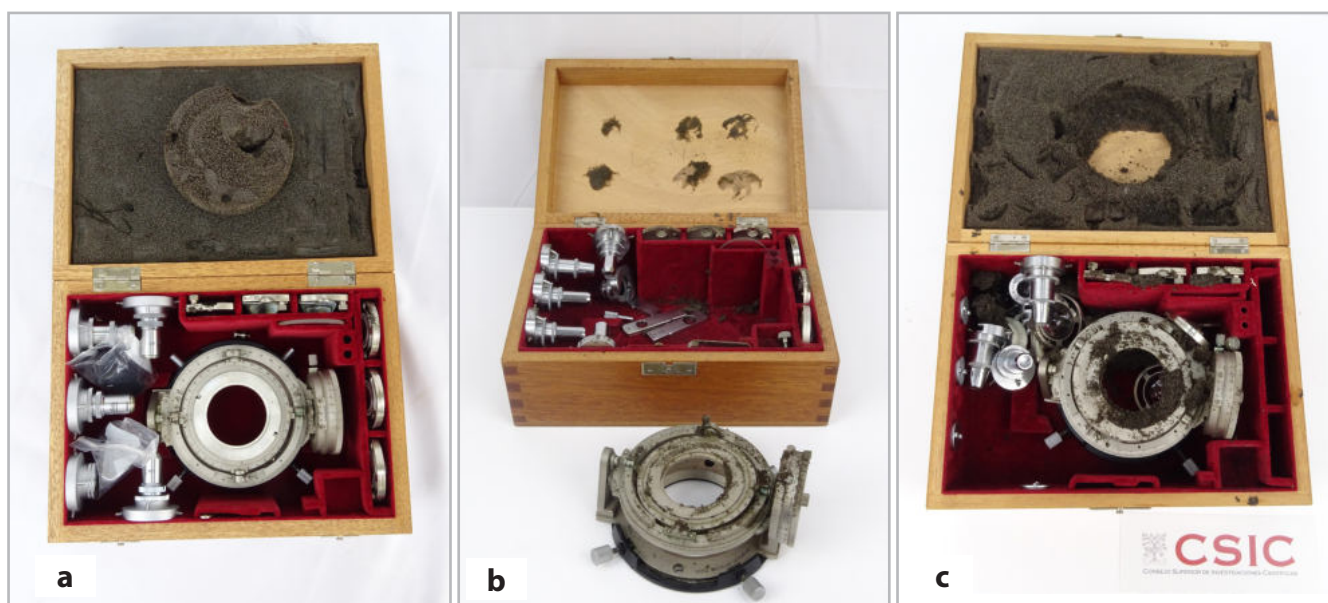


Figura 8.- Cajas con platinas y accesorios con diferentes estados de conservación pertenecientes al Museo Geominero. a) Caja nº N048. b) Caja nº N007. c) Caja nº N013. Fotografías: S. Bartolomé.

a realizar sobre ellos. A diferencia de otros bienes culturales, estos instrumentos fueron fabricados para ser sometidos a un desgaste que podían dejar huellas físicas en los materiales: piezas móviles deterioradas, fracturas en componentes o marcas que nos ayudan a identificar cómo y cuánto fueron utilizados. A su vez, también es común la descontextualización de piezas universales e intercambiables, como ocurre con los bancos de pruebas ópticas: montajes experimentales que utilizan diversos accesorios que se pueden intercambiar y combinar según el objeto de la investigación (lentes, prismas, redes de difracción, fuentes de iluminación, etc.).

Este tipo de instrumentos acababan siendo utilizados por un gran número de personas a lo largo de la vida útil del objeto, fomentando tanto la pérdida de accesorios como la mezcla de componentes de modelos nuevos y antiguos y a su vez, también dan lugar a nuevas preguntas respecto a su exposición y comprensión, pues exponer el banco con sus accesorios sin un montaje disminuye la comprensión funcional del instrumento, eliminando el valor científico inherente a los distintos montajes experimentales que permitieron la obtención de resultados. [Figura 9]

Es necesario mencionar la interrelación que existe entre el montaje expositivo y la restauración, saber qué se quiere comunicar con el objeto expuesto modifica los criterios del proyecto de conservación, del mismo modo que el estado de conservación de un objeto determina criterios en su exposición. Se trata de trabajos que deben llevarse a cabo por un grupo de profesionales multidisciplinares que reúnan todas las competencias necesarias para comprender el instrumento en su totalidad y por lo tanto pudiendo definir su presentación y museografía (Rolland-Villemot 2002).

— Criterios de restauración

Las intervenciones sobre el instrumental científico deben ir encaminadas a recuperar la legibilidad del objeto y detener sus procesos de degradación, respetando las pátinas y también las alteraciones que hayan sido ocasionadas por el uso, como las abrasiones o las modificaciones a las que hayan sido sometidos por los usuarios, ya que son aspectos que forman parte de su valor patrimonial y científico. Sin embargo, algunos criterios de restauración aplicados a finales de los 90 entran en conflicto con el concepto de mínima intervención y otros enfoques actuales. Por ejemplo, en el proyecto de catalogación del año 1994, las restauraciones que acompañaron la recuperación de los objetos fueron encaminadas a devolverles su operatividad, con el criterio de llevar el instrumento a las condiciones que tenían cuando fueron fabricados, por lo que las piezas desaparecidas se sustituyeron por piezas nuevas de latón y materiales iguales a los originales y las superficies de latón se trataron con barnices y lacas siguiendo recetas de los siglos XVIII y XIX (Moreno *et al.* 1996).

Este aspecto nos lleva a tratar asuntos que enfrentan la funcionalidad y la integridad material: ¿Debemos conservar los instrumentos o mantener su funcionalidad? Priorizar su naturaleza material puede suponer el desmontaje y separación de materiales evitando con ello degradaciones químicas por contacto y por COVs, pero esto carece de sentido si no somos capaces de comprender el instrumento en conjunto y de recuperar su aspecto original mediante un nuevo montaje. Pero, ¿Es válido separar y conservar por componentes un instrumento si existe un modelo igual y original montado, o incluso si el montaje es una copia actual?, ¿Hasta qué punto podemos restaurar la funcionalidad del bien con piezas nuevas y discernibles respetando la integridad del aparato

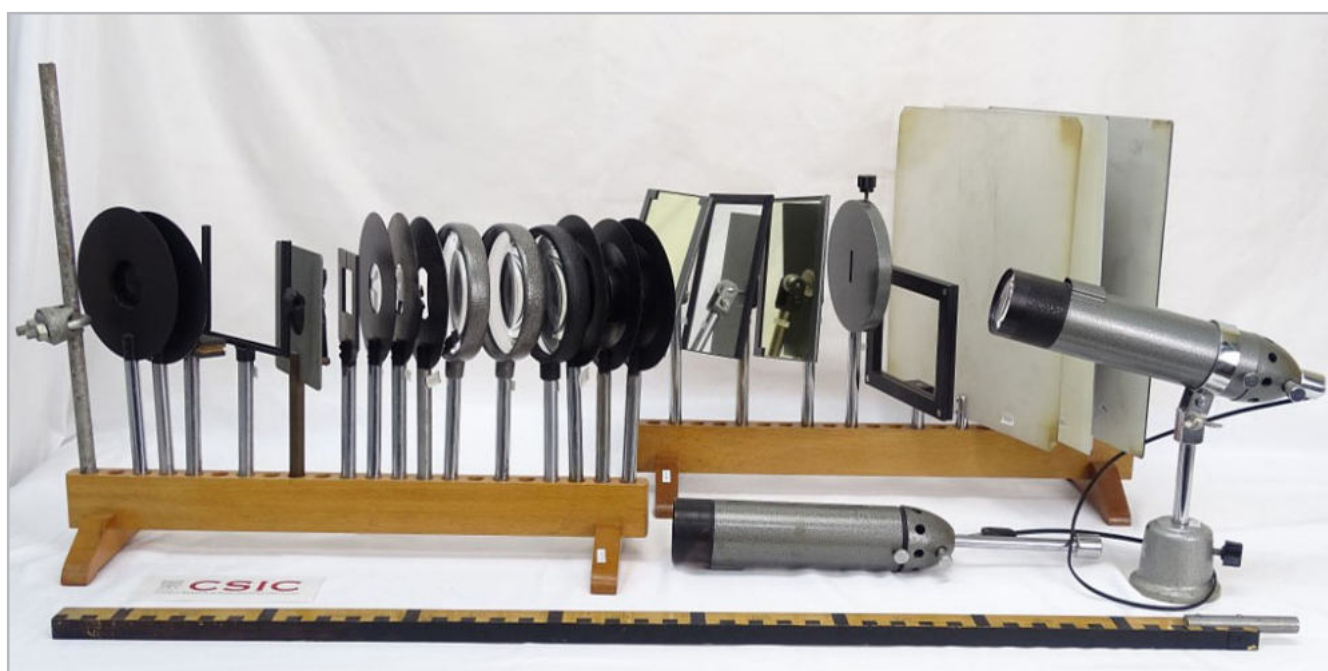


Figura 9.- Elementos de un banco de pruebas óptico didáctico perteneciente al ITEFI. Fotografía: S. Bartolomé.

o con piezas de otro instrumento incompleto del mismo modelo?, ¿Debemos asumir el mantenimiento del fabricante como restauración preventiva? En este sentido, la lubricación de un instrumento se enmarca en las tareas habituales de mantenimiento. Si no se incorpora esta sustancia se corre el riesgo de que pierda su movimiento mecánico, pero no conocemos hasta qué punto estas grasas y aceites son inocuas y reversibles. Al mismo tiempo, estos lubricantes pueden encontrarse en mal estado por la acumulación de polvo y suciedad y la falta de mantenimiento. ¿Su eliminación se consideraría como parte original del aparato?, ¿Influye en esta consideración si se aplicaron de forma reciente?

Estas preguntas también se aplican a otras sustancias que forman parte del funcionamiento del instrumento, como la gasolina para un motor o el aceite de las bombas de vacío. ¿Su extracción favorece su conservación?, al eliminar estas sustancias y favorecer la entrada de aire ¿Estamos propiciando su oxidación? o ¿Al mantenerlas sin entrar en funcionamiento se pueden producir sedimentos que lleguen a obstruir filtros o poner en peligro el motor? En cuanto a su extracción total, ¿Hasta qué punto estamos conservando el instrumento solo por su función estética si lo hemos “vaciado” de su funcionalidad?

Este mismo caso se nos presenta ante materiales peligrosos como el mercurio de los barómetros, puesto que su eliminación inutiliza el instrumento perdiendo su funcionalidad y dificultando su comprensión por parte del espectador. Una vez eliminado, ¿Debemos introducir un líquido coloreado para fomentar la comprensión?, ¿Necesita un mantenimiento?, ¿Cada cuánto tiempo debemos sustituirlo?

En conjunto, estos problemas evidencian que la conservación del patrimonio científico-técnico se debe abordar, como hemos mencionado anteriormente, desde una perspectiva interdisciplinar, teniendo conocimientos sobre los materiales, pero también sobre historia de la ciencia, entender la tecnología, los principios físicos y químicos que los hacen funcionar, tener nociones de mecánica y en algunos casos más modernos de electrónica básica. Siendo fundamental conservar el contexto de los aparatos y todos los aspectos inmateriales que los rodean.

— La conservación inmaterial del patrimonio científico-técnico

Comentábamos cómo el patrimonio científico-técnico no puede comprenderse sin tener en cuenta su dimensión inmaterial: historia, contexto y funcionalidad. Estos bienes son testimonio tangible de las prácticas, conocimientos, desarrollo del pensamiento y de la investigación científica a lo largo del tiempo. Por lo tanto, conservarlos implica preservar un espacio de memoria, ya que cada instrumento está relacionado con la institución donde se alberga, las personas que lo utilizaron, y los resultados a los que se pudo llegar gracias a su uso, y adquiere su significado cuando se le reconoce como parte fundamental de la práctica científica en un determinado contexto.

La colección de ICH del MNCN conserva conjuntos de objetos asociados a investigadores, denominados “legados” que constituyen parte de las labores de esa persona para la institución, como por ejemplo el Legado de José Royo y Gómez, geólogo y paleontólogo exiliado durante la Guerra Civil, y que está formado por parte de las herramientas que empleaba en la recolección de muestras en el campo, como su martillo de geólogo (ICH.0190) [Figura 10]. Por otro lado, hay series de bienes que proceden de un mismo departamento o proyecto, como los equipos de fotografía subacuática adquiridos en los años 90 para el proyecto Fauna Ibérica. Este marco particular representa un criterio clave a la hora de decidir que bienes se deben conservar, pues resulta trascendente para diferenciar objetos que se han fabricado en serie y determinar cuáles tienen mayor prioridad de incorporarse a las colecciones.

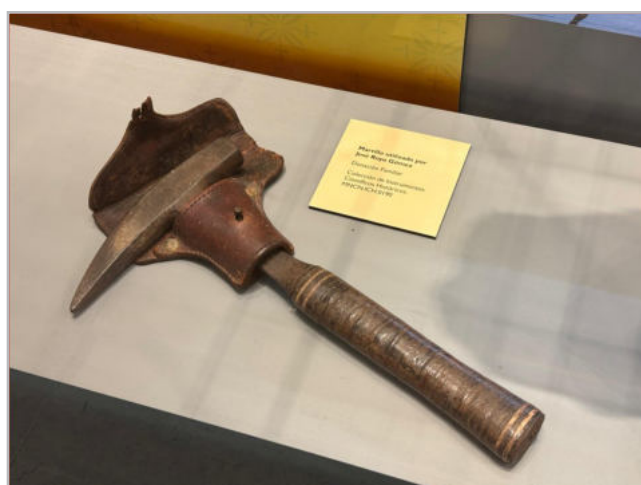


Figura 10.- Martillo de geólogo de José Royo en exposición en el MNCN. Fotografía: M. Onrubia.

En el año 1995 ya se referencia la consulta a investigadores y técnicos de los centros de investigación sobre el uso e historia de las piezas inventariadas. La conservación de testimonios resulta indispensable pues contribuye a entender el uso y significado del instrumento. Y para conservar esta memoria colectiva vinculada al patrimonio científico-técnico debemos empezar por documentar la relación entre los investigadores o técnicos con los objetos. En 2022, desde la colección de ICH del MNCN se impulsó la grabación de un vídeo explicando el funcionamiento de un difractor de rayos X (ICH.0352) que había llegado al MNCN a finales de los años 80 procedente del departamento de Cristalografía del actual IQF. El vídeo presenta el instrumento, su historia, el ingreso en la colección y los técnicos que lo utilizaron, comparando su funcionamiento con equipos más modernos.

Tampoco podemos olvidar el carácter didáctico de los instrumentos científicos, en los cuales se pueden estudiar importantes conceptos y teorías científicas. Por ello, desde el Plan ICLIH se han realizado varios vídeos divulgativos y conferencias resaltando el valor pedagógico de los instrumentos.

La realización de este tipo de vídeos constituye un recurso clave para la conservación del patrimonio científico, ya que documentan el valor histórico y funcional de los instrumentos, recuperan parte de la memoria colectiva de los institutos y exponen los principios científicos de su funcionamiento de forma didáctica y divulgativa, siendo accesible para todo tipo de público.

Conclusiones

El patrimonio científico-técnico resulta clave para entender la historia de la ciencia y las instituciones, y su conservación-restauración plantea retos específicos que requieren enfoques interdisciplinares. Para el CSIC, constituye un testimonio esencial del conocimiento científico y desarrollo tecnológico en España. La conservación de estos bienes debe atender tanto a su parte material como inmaterial, ya que preservar el contexto y la historia del objeto resulta imprescindible para garantizar su comprensión y puesta en valor. A través de iniciativas como el Plan ICLIH se ha puesto de manifiesto la importancia y la necesidad de identificar, recuperar y difundir estos bienes, impulsando proyectos de catalogación y musealización que faciliten el acceso y conocimiento de este patrimonio a la sociedad. Asimismo, los testimonios orales y la divulgación son estrategias que amplían el conocimiento de estos bienes y funcionan como herramientas esenciales para fomentar la conciencia sobre su protección. Es fundamental conservar la memoria de los investigadores junto a los objetos para entenderlos.

Avanzar en la preservación de este patrimonio requiere el esfuerzo de los profesionales, el compromiso de las instituciones y el desarrollo de nuevas líneas de investigación que sienten las bases para la evolución de este campo emergente en conservación. La falta de unos protocolos consolidados en el marco normativo tanto de España como a nivel internacional genera dilemas en cuanto a los límites de su intervención, y existen ciertas lagunas de conocimiento en lo relativo a la degradación e interacción entre ciertos materiales más modernos. En este contexto proponemos la necesidad de elaborar un manual o protocolo unificado imprescindible, que articule criterios técnicos y documentales para guiar a los profesionales en la conservación de este tipo de bienes. Esta iniciativa constituye una responsabilidad que debe ser asumida e impulsada desde las instituciones que alberguen dichos objetos, para reforzar el reconocimiento del patrimonio científico como parte esencial de la memoria cultural y progreso tecnológico del país.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al esfuerzo y constante apoyo de Esteban Moreno (coordinador del Plan ICLIH). A Carolina Martín y Cruz Osuna, por su trabajo y puesta en valor de la colección de ICH del MNCN, así como a Joaquina Leal, restauradora del MUNCYT por sus consejos. Los autores

también agradecen a Ulises Acuña y Ángel Guirao por la inestimable ayuda en el montaje expositivo del Laboratorio Enrique Moles y a Emilio Cano, Blanca Ramírez y Marina Martínez del grupo CAPAC del CENIM-CSIC por facilitar todas las tareas y la creación de este artículo.

Este trabajo ha sido financiado por MCIU/AEI/10.13039/501100011033, el Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación MCIN/AEI/10.13039/501100011033 a través de las ayudas PTA2023-023162-I, PTA2023-023613-I y JDC2023-050690-I financiados por el Fondo Social Europeo SE+ y por el proyecto PID2021-123323NB I00 / AEI / 10.13039 / 501100011033 / FEDER, UE, 2022-2026 dirigido por Carolina Martín.

Referencias

- BARCLAY, R.L. (1993a). 'The metals of the scientific instrument maker. Part I: Brass', *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, 39: 32-36.
- BARCLAY, R.L. (1993b). 'The metals of the scientific instrument maker. Part II: Steel', *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, 40: 13-15.
- GIBSON, L.T. AND WATT, C.M. (2010). 'Acetic and formic acids emitted from wood samples and their effect on selected materials in museum environments', *Corrosion Science*, 52(1): 172-178. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.08.054>
- GUAL, M. (2016). 'Conservación y restauración de patrimonio industrial mueble: algunos casos prácticos sobre la colección del MNACTEC', in Asociación de Conservadores y Restauradores del Principado de Asturias (ed.) *Jornadas de conservación-restauración del Patrimonio Industrial Mueble*. 10-12 noviembre. Candás, Asturias.
- JIMÉNEZ-ALBARRÁN, M.J. AND BANDE-FUENTES, E.J. (2013) 'MUNCYT Coruña: the renovation of the National Museum of Science and Technology through its new headquarters', *Revista de Museología (RdM)*, (58): 56-68.
- KEENE, S. (2000). 'Instruments of History: appearance and evidence.' *The Restoration of scientific Instruments. Proceedings of the workshop held in Florence*, 14-15, 1998. Le Lettere. 57-67.
- LATTUATI-DERIEUX, A.; CÉLINE E; THAO-HEU.; BALCAR N.; BARABANT, G. AND LAVÉDRINE, B. (2013). 'What do plastics emit? HS-SPME-GC/MS analyses of new standard plastics and plastic objects in museum collections', *Journal of Cultural Heritage*, 14(3): 238-247. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.06.005>
- LAZZARI, M. AND REGGIO, D. (2021). 'What fate for plastics in artworks? An overview of their identification and degradative behaviour', *Polymers*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/polym13060883>
- LEMOS, M. AND TISSOT, I. (2020). 'Reflections on the conservation challenges of scientific and technological objects', *Conservar Patrimonio*, 33: 24-31. <https://doi.org/10.14568/cp2018044>

MOLINA, M.T.; CANO, E.; LEAL, J.; FORT, R.; ÁLVAREZ DE BUERGO, M. AND RAMÍREZ-BARAT, B. (2023). 'Protective Coatings for Metals in Scientific-Technical Heritage: The Collection of the Spanish National Museum of Science and Technology (MUNCYT)', *Heritage*, 6: 2473–2488. <https://doi.org/10.3390/heritage6030130>

MOLINA, M.T.; RAMÍREZ-BARAT, B.; DÍAZ, I. AND CANO, E. (2025) 'Comparison of Storage Systems for a Scientific-Technical Museum Collection Based on Corrosivity Assessment by Metallic Dosimeters', *Studies in Conservation*, 1-13. <https://doi.org/10.1080/00393630.2025.2491252>

MORENO, E., ACUÑA, A. U., & GUIRAO, Á. (2022). El Laboratorio histórico "Enrique Moles" de Química-Física: un viaje a la Edad de Plata de la ciencia española. 20 minutos. <https://www.20minutos.es/ciencia/blogs/ciencia-para-llevar-csic/laboratorio-historico-enrique-moles-quimica-fisica-un-viaje-edad-plata-ciencia-espanola-5601604/> (Acceso: 10 marzo 2025)

MORENO, R.; ROMERO DE PABLOS, A. Y REDRAJO, F. (1996). 'La recuperación del instrumental científico-histórico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas', *Arbor*, CLIII, 603: 9-54

MORENO GÓMEZ, E. (2019). 'Instrumentos de la ciencia española: los aparatos históricos del CSIC. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid: Catarata.

MORENO GÓMEZ, E. (2024). 'Plan de Recuperación y Conservación de Instrumentos Científicos y Laboratorios de Interés Histórico del CSIC'. Repositorio: <http://hdl.handle.net/10261/374280> (Acceso: 24 junio 2025).

MORENO GÓMEZ, E. (2025). 'Colecciones del Museo Virtual de la Ciencia del CSIC'. Disponible en: <https://museovirtual.csic.es/colecciones.htm> (Acceso: 24 junio 2025).

NEWAY, H. (2000). 'Conservation and the preservation of scientific and industrial collections', *Studies in Conservation*, 45(1): 137–139.

OSUNA ARIAS, M.C.; ONRUBIA CHINARRO, M. Y MARTÍN ALBALADEJO, C. (2021). 'Una linterna mágica en el museo'. *Naturalmente*, 32: 52-57.

OSUNA ARIAS, M.C.; ONRUBIA CHINARRO, M. Y MARTÍN ALBALADEJO, C. (2022). 'Catálogo de la Colección de Instrumentos Científicos Históricos'. Repositorio: <http://hdl.handle.net/10261/261135> (Acceso: 24 junio 2025).

PACHECO MUÑOZ, M.F. (2007). 'Los museos de ciencia y la divulgación', *Redes*, 12(2):181–200. <https://doi.org/10.48160/18517072re25.402>

ROLLAND-VILLEMOT, B. (2002). "Une méthodologie pour la conservation et la restauration du patrimoine industriel, scientifique et technique" ICOM Committee for Conservation 13th Triennial Meeting Rio de Janeiro 20-27 September 2002

WATKINSON, D. (2010). 'Preservation of Metallic Cultural Heritage', in Shreir's Corrosion. Oxford: Elsevier, 3307–3340.

Autor/es



Marta Onrubia Chinarro

marta.onrubia@mncn.csic.es

Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN), Consejo Superior de Investigaciones Científicas

<https://orcid.org/0000-0001-5792-7032>

Graduada en Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural (2016) y Máster en Estudios Avanzados de Museos y Patrimonio Histórico-Artístico (2020), ambos por la Universidad Complutense de Madrid. Comenzó su actividad profesional en la conservación-restauración de material fósil con el Grupo de Biología Evolutiva (UNED). Está vinculada al Museo Nacional de Ciencias Naturales desde 2020, donde realizó sus prácticas de Máster y se desempeña actualmente como Personal Técnico de Apoyo en las colecciones de Instrumentos Científicos Históricos, Bellas Artes y Legado Cajal. Ha participado en distintos proyectos con fondos estatales y actualmente forma parte del equipo de trabajo del proyecto "La reconstrucción del MNCN: 1985-1995" (2022-2026). Gestiona la página web de divulgación Ciencia con Historia, vinculada al grupo de investigación "Historia y documentación de las Ciencias Naturales" (CSIC). Sus intereses y líneas de trabajo e investigación están relacionadas con la conservación, restauración, y divulgación de colecciones científicas-históricas y los museos de historia natural.



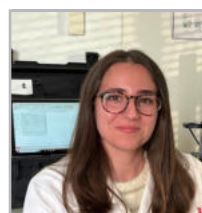
Susana Bartolomé Santos

susana.bartolome@csic.es

Vicepresidencia Adjunta de Cultura Científica y Ciencia Ciudadana (VAAC), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

<https://orcid.org/0009-0003-0214-8113>

Graduada en Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural, así como en Publicidad y Relaciones Públicas. Empezó su trayectoria profesional colaborando con el Grupo de Biología Evolutiva de la UNED como restauradora de materiales fósiles, donde realizó sus primeras publicaciones. Posteriormente ha trabajado para Patrimonio Nacional como restauradora de documento gráfico y encuadernadora. Actualmente es técnico de apoyo a la investigación dentro del Plan de recuperación y conservación de Instrumentos Científicos y Laboratorios de Interés Histórico (Plan ICLIH), desde el cual realiza tareas de conservación-restauración, investigación y divulgación del numeroso y variado patrimonio científico-histórico del CSIC.



María Teresa Molina

mt.molina@csic.es

Instituto de Geociencias (IGEO), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

<https://orcid.org/0000-0003-1183-5559>

Graduada en Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural y máster y doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales. Su trayectoria investigadora comenzó en 2017 como técnica de investigación en el Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Granada (UGR). En 2019 se trasladó a Madrid

para trabajar en el CENIM-CSIC en la conservación y protección de metales del patrimonio científico-técnico, habiendo colaborado con varios museos con este tipo de colecciones. Actualmente es investigadora postdoctoral Juan de la Cierva en el IGEO-CSIC/UCM. Su investigación actual se basa en la investigación de recubrimientos protectores inteligentes para aplicar al patrimonio, así como nuevos morteros de restauración elaborados con materiales sostenibles y reciclados. Ha colaborado con varias instituciones internacionales como L'Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale (ISPC) de Florencia, Italia o La Haute Ecole Arc Conservation-restauration (HE-Arc CR) de Neuchâtel, Suiza.



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i.1456>



II JORNADAS DE INVESTIGADORES JÚNIOR EN PATRIMONIO

Ge-conservación
Conservação | Conservation

Jornadas JIP - 2, 3 y 4 de abril de 2025

Herramientas para la conservación y gestión de colecciones entomológicas: La Colección Luis Jiménez de Asúa de la Universidad Complutense de Madrid

Klo Nieto García y Fátima Marcos Fernández

Resumen: La colección entomológica Luis Jiménez de Asúa, conservada en la Universidad Complutense de Madrid, presenta un estado delicado debido a factores históricos, ambientales e intervenciones inadecuadas. Entre los daños destacan la corrosión, la pérdida de información y el deterioro por luz UV. No obstante, gracias a un protocolo sistemático de evaluación, digitalización y organización, se han mitigado los riesgos clave. Se han implementado rúbricas de conservación, bases de datos provisionales y monitoreo ambiental. Como línea de mejora, se subraya la importancia de reconocer el valor social, científico y cultural de la colección, entendida como patrimonio que conecta el conocimiento histórico con la investigación actual.

Este caso demuestra que, con un enfoque multidisciplinar y recursos limitados, es posible recuperar y gestionar una colección histórica. La musealización parcial y la formación continua completarían una estrategia sostenible orientada a la conservación y al aprovechamiento científico y educativo.

Palabras clave: conservación, colecciones entomológicas, gestión, patrimonio científico, sistematización, revalorización

Tools for the conservation and management of entomological collections: The Luis Jiménez de Asúa Collection at the Complutense University of Madrid

Abstract: The Luis Jiménez de Asúa Entomological Collection, housed at the Complutense University of Madrid, is in a fragile condition due to historical and environmental factors, as well as inappropriate interventions. Notable damage includes corrosion, loss of information and deterioration caused by UV light and the use of unsuitable materials. Nevertheless, thanks to a systematic protocol of assessment, digitisation, and organisation, key risks have been mitigated. Conservation rubrics, provisional databases, and environmental monitoring have been implemented. As an area for improvement, emphasis is placed on recognising the social, scientific, and cultural value of the collection, understood as heritage that bridges historical knowledge with current research.

This case demonstrates that, with a multidisciplinary approach and limited resources, it is possible to recover and manage a historical collection. Partial musealisation and ongoing training would complete a sustainable strategy aimed at conservation and scientific and educational utilisation.

Keywords: conservation, entomological collections, management, scientific heritage, systematisation, revaluation

Introducción

Las colecciones entomológicas son un recurso fundamental para la investigación científica y el estudio de la biodiversidad en contextos espaciotemporales específicos. Además del valor para la conservación e investigación de la biodiversidad, últimamente, su valor se ha ampliado al ámbito educativo y divulgativo, promoviendo el interés por la ecología y la evolución de los artrópodos.

Civilizaciones antiguas como Egipto, Grecia y Roma fueron precursoras en la recolección y clasificación de plantas y animales (Simmons y Muñoz-Saba 2005: 19-20; Kusakawa 2012; González Bueno y Baratas Díaz 2013). Aunque estas prácticas marcaron los inicios del estudio de la historia natural, fue durante el Renacimiento europeo cuando las colecciones comenzaron a organizarse de forma más sistemática. Surgieron entonces los gabinetes de curiosidades, con una estructura más ordenada y una clasificación basada en los conocimientos científicos de la

época. Un ejemplo destacado es la colección del naturalista italiano Ulisse Aldrovandi (s. XVI), considerado el precursor de la taxonomía moderna; que abarcaba ejemplares vegetales, minerales y animales (Bellés Ros 2000).

En la *Instrucción* de 1776 de Carlos III, se presta especial atención a la recolección y conservación de insectos, considerados elementos valiosos para el estudio de la historia natural. Se indica que deben recogerse cuidadosamente diversos ejemplares —moscas, mariposas, escarabajos, grillos, entre otros— procurando seleccionar aquellos de mayor rareza o belleza. Para su conservación, se recomendaba montarlos con alfileres sobre corchos o tablas forradas de papel, colocándolos en cajas que debían cerrarse herméticamente para evitar daños durante el transporte. Se hacía hincapié en protegerlos de la humedad y de posibles plagas, y se instaba a anotar con precisión el lugar y la fecha de su recolección, junto con cualquier observación relevante sobre su hábitat o comportamiento. Esta meticulosidad respondía al interés ilustrado por sistematizar el conocimiento natural y enriquecer el acervo científico del Real Gabinete (Franco Dávila 1776).

Estas colecciones, además de su valor científico, poseen también un gran valor histórico. Esta duplicidad plantea desafíos significativos para su conservación, por el riesgo de manipulación constante, almacenamiento inadecuado, riesgo de disociación, y exposición a agentes de deterioro extrínsecos e intrínsecos.

Los métodos convencionales de conservación del patrimonio no siempre responden adecuadamente a las particularidades de las colecciones entomológicas, especialmente cuando se busca conciliar su uso científico con su dimensión patrimonial. Un ejemplo ilustrativo es la colección Luis Jiménez de Asúa, preservada en la Colección de Entomología de la Universidad Complutense de Madrid (UCME), que presenta una notable diversidad geográfica y taxonómica, así como una amplia variabilidad en las condiciones de conservación de sus ejemplares. Esta heterogeneidad dificulta la aplicación de protocolos estandarizados y exige un enfoque individualizado para diseñar soluciones eficaces, innovadoras y respetuosas con la integridad de los ecofactos (*Ecofactos* | Tesoro Regional Patrimonial s.f.).

En este contexto, los trabajos desarrollados en torno a esta colección han dado lugar a un conjunto de herramientas destinadas a mejorar su conservación y gestión. El enfoque adoptado es multidisciplinar, involucrando a biólogos, informáticos y otros profesionales; y ha logrado incorporar estas herramientas de forma orgánica y efectiva en los procesos preexistentes, asegurando la implicación del personal responsable.

En una primera etapa, se identificaron las necesidades específicas de conservación mediante el análisis de las características físicas y morfológicas de los ejemplares,

así como su estado de conservación. Para ello, se creó una herramienta basada en dos rúbricas que asignan valores numéricos a los deterioros observados en los ecofactos. Estos valores permiten calcular una media aritmética que cuantifica el estado general de cada ejemplar. Este sistema facilita evaluaciones objetivas, permite jerarquizar las intervenciones y optimiza la gestión de los fondos.

Además, se diseñaron otras herramientas específicas para la colección Jiménez de Asúa. Destaca una base de datos de conservación, elaborada a partir del volcado de información registrada mediante fichas modelo (Marcos Fernández *et al.* 2025). Esta base integra datos sobre la procedencia de los ejemplares, tratamientos de preparación y conservación aplicados, estado físico y otra información relevante. La herramienta permite realizar búsquedas específicas, análisis estadísticos y evaluar la evolución del deterioro en función de las intervenciones y materiales empleados.

Finalmente se implementaron recursos de gestión más amplios, como protocolos y procedimientos específicos de conservación. Estos documentos ofrecen una guía estandarizada para el manejo adecuado de la colección, mejorando sus condiciones generales y facilitando el uso científico, educativo y patrimonial.

Estado de la cuestión

—Las colecciones entomológicas

Las colecciones entomológicas documentan la biodiversidad de artrópodos en contextos geográficos y temporales determinados, albergando información relevante sobre la localización, recolección, identificación y nomenclatura de este grupo de organismos, incluyendo en ocasiones ejemplares tipo (Comisión Internacional de Nomenclatura Zoológica 1999). Además de ejemplares en distintas etapas del ciclo vital (huevos, larvas, pupas y adultos), estas colecciones pueden incluir productos derivados como nidos, sedas, excrementos, maderas o semillas asociadas; así como réplicas y modelos de diversos materiales (National Park Service 1999: 51).

Estos elementos, clasificados como colecciones auxiliares, también forman parte integral de las colecciones entomológicas. Su conservación es fundamental ya que aportan un contexto ecológico y etológico que enriquece el valor científico del material principal. Además, las etiquetas y documentos asociados son una fuente imprescindible de información. No solo permiten la trazabilidad de los ejemplares y son esenciales para su correcta identificación; sino que en ocasiones tienen un valor idéntico al de los ejemplares patrimoniales (National Park Service 1999: 9).

Las colecciones entomológicas no están formadas únicamente por ejemplares naturalizados, sino también

por diversos materiales como papel, cartón, tintas, vidrio o metal. Esta combinación da lugar a conjuntos heterogéneos en los que cada componente presenta vulnerabilidades específicas frente a distintos agentes de deterioro, a veces incluso opuestos entre sí, lo que incrementa notablemente la complejidad de su conservación. La bibliografía localizada aborda principalmente cuáles son los materiales más adecuados para la preservación de cada componente por separado, pero rara vez considera los posibles efectos adversos que estos pueden generar sobre el resto de los materiales que integran la colección.

Estas colecciones deben ser entendidas de forma integral con todos sus elementos: contenedores, ejemplares, alfileres, etiquetas, pesticidas y todos los productos derivados mencionados anteriormente.

— Evolución de la conservación de colecciones entomológicas

La conservación de colecciones científicas ha sido fundamental para el avance del conocimiento en diversas áreas, entre ellas la entomología. Antes del siglo XVII, los esfuerzos por conservar estos materiales fueron escasos y dispersos. Sin embargo, existen antecedentes notables en el siglo XVI, como los trabajos de Konrad Gesner y Ulisse Aldrovandi, quienes elaboraron extensos catálogos de sus ejemplares e implementaron algunas medidas para su preservación (Simmons y Muñoz-Saba 2005: 22).

Durante los siglos XVII y XVIII, con la organización de las primeras colecciones sistemáticas de artrópodos, los ejemplares más llamativos (y por lo tanto cotizados), se trasladaban en barco desde el continente americano. Los métodos de preservación en líquido que se utilizaron a partir de 1662 consistían en conservar los ejemplares metidos en bebidas con alto contenido alcohólico (Simmons y Muñoz-Saba, 2005: 23), generalmente en barriles de alcohol que debían ser revisados regularmente buscando signos de putrefacción y supervisando el estado de los ejemplares (Hunter, John, and Hunter, 1809: 33-34). También se montaban los especímenes en alfileres o se preservaban metidos entre páginas de libros (Coakley Lettsom 1774; Petiver 1799; Hunter, J. 1809; Hancock and Brown 2014).

A mediados del siglo XVII comenzaron a emplearse sustancias químicas como el arsénico y el cloruro de mercurio como pesticidas. Asimismo, se experimentó con ceras coloreadas e inyecciones de mercurio en los sistemas vasculares para mejorar la conservación de los ejemplares (Simmons y Muñoz-Saba 2005: 23-25).

Ya a mediados del siglo XVIII las colecciones comenzaron a tener un uso claramente científico, centrado en la clasificación de las especies y haciendo énfasis aún en los ejemplares raros y no usuales. En este periodo se realizan avances en la tecnología de la conservación. A finales de este siglo y durante el s. XIX, se promovió la recolección y conservación sistemática con el objetivo de completar

las colecciones de los museos, publicando resultados y abriendo los gabinetes al público (Simmons y Muñoz-Saba 2005: 25-27).

El siglo XIX trajo consigo una auténtica revolución científica y museográfica. La publicación de *El origen de las especies* de Charles Darwin y la invención del formol transformaron profundamente la forma de tratar las colecciones de historia natural. El formol comenzó a utilizarse para fijar tejidos, logrando una mejor preservación de los ejemplares (Simmons y Muñoz-Saba 2005: 29).

Actualmente, las metodologías de conservación-restauración han evolucionado significativamente. La conservación preventiva es una estrategia enfocada en evitar o minimizar el impacto de los deterioros en los bienes patrimoniales. Suele centrarse en controlar el entorno y condiciones en las que se almacenan, exhiben y gestionan los objetos (Calvo Manuel *et al.* 2016:14). Estas acciones planteadas a largo plazo, buscan garantizar la sostenibilidad de las colecciones, reducir la necesidad de intervenciones restauradoras invasivas y preservar la integridad de los bienes patrimoniales.

Por otro lado, la incorporación de tecnologías digitales ha transformado la gestión de las colecciones científicas. Herramientas como las bases de datos, los códigos QR y la macrofotografía permiten el acceso remoto a la información y reducen la manipulación física de los ejemplares. Estas innovaciones no solo favorecen la conservación física de los objetos, sino que también amplían sus posibilidades de estudio, difusión y aprovechamiento científico y educativo.

En definitiva, conservar las colecciones entomológicas no es únicamente preservar los objetos, sino proteger una parte esencial del patrimonio científico y cultural de la humanidad. La integración de tecnologías con buenas prácticas de conservación y restauración asegura que estos testimonios de la biodiversidad continúen disponibles para las futuras generaciones de investigadores y para el conjunto de la sociedad.

— La colección Luis Jiménez de Asúa

Luis Jiménez de Asúa (1889-1970) fue una figura destacada en los ámbitos jurídico y político del siglo XX. Catedrático de Derecho Penal en la Universidad Central de Madrid y posteriormente docente en diversas universidades, fue autor de numerosas publicaciones sobre derecho penal y conferenciante en España e Iberoamérica.

Durante la Segunda República, fue elegido diputado y participó en la redacción de la Constitución de 1931 y del Código Penal. Tras la Guerra Civil y tras la instauración del régimen franquista, fue apartado oficialmente de su cátedra en 1939 y se exilió definitivamente a Buenos Aires. Desde allí, ejerció la presidencia del gobierno republicano en el exilio y continuó su labor académica y docente (Cuerda Riezu 2020: 64; Roldán Cañizares 2019: 57).

Además de su carrera profesional, Jiménez de Asúa fue un entomólogo aficionado. Recolectó y etiquetó minuciosamente varias decenas de miles de ejemplares de América y Europa generalmente. Aunque se interesó principalmente por los coleópteros y lepidópteros, su colección recoge una gran variedad de taxones de lugares dispares, ya que no le era desconocida la actividad del trueque, muy común entre entomólogos (Roldán Cañizares 2019).

Tras su fallecimiento en 1970, su esposa, Blanca María de las Mercedes, donó la colección entomológica a la Universidad Complutense de Madrid (UCM) en 1973 (Compte-Sart 2008: 152). Actualmente, la colección Jiménez de Asúa se considera una de las 4 subcolecciones más importantes de la Colección de Entomología UCME (Facultad de Ciencias Biológicas).

Aunque inicialmente estaba almacenada solo con la catalogación realizada por el profesor, posteriormente se llevó a cabo su inventario, que atestigua que la colección contiene un total de 22.499 ejemplares, registrados en 20.251 números de inventario, y ocupa actualmente tres armarios estándar de 100 ranuras cada uno, y cuenta con 373 cajas entomológicas.

La dirección de la UCME ha estado a cargo de distintos profesores de la facultad de Ciencias Biológicas, y actualmente está bajo la supervisión del Profesor Dr. Francisco José Cabrero Sañudo. La colección sigue ampliándose gracias a diversos proyectos de investigación impulsados por la comunidad académica. Su valor no solo radica en su riqueza científica y patrimonial, sino también en su dimensión histórica, al estar vinculada a una figura tan influyente como Luis Jiménez de Asúa (Universidad Complutense de Madrid. Vicerrectorado de Extensión Universitaria, Cultura y Deporte 2015: 132).

Objetivos y metodología

— Objetivos

El objetivo principal de este estudio es desarrollar una herramienta de conservación y gestión para colecciones entomológicas subdividida en secciones específicas para cada tipo de gestión o intervención.

Los objetivos específicos definidos son:

- Estudio sobre el estado y sistema de catalogación, inventariado y documentación de la colección para determinar si es necesario continuar estos trabajos y/o añadir otros complementarios.
- Conocimiento del estado de conservación y los posibles agentes de deterioro activos para evaluar los riesgos a los que está expuesta la colección Jiménez de Asúa, estableciendo una jerarquía en la actuación basada en la necesidad de intervenir en cada caso.

- Identificación de las causas del estado de conservación y la vulnerabilidad de los especímenes y la colección a los riesgos potenciales.

- Desarrollo de una base de datos específica de conservación, que mediante la baremación del grado de deterioro determine y registre las necesidades de cada pieza.

— Metodología

La metodología aplicada en la Colección Jiménez de Asúa destaca por su enfoque integral y adaptado a las necesidades específicas de una colección entomológica patrimonial, diferenciándose de otros modelos aplicados en colecciones científicas más consolidadas. A diferencia de las instituciones, donde los protocolos están completamente estandarizados y respaldados por equipos técnicos especializados, la Colección UCME partía de una situación más rudimentaria, con los procedimientos transmitidos oralmente (Museums and Galleries Commission 1992; Museo Nacional de Ciencias Naturales y CSIC 1994; Society for the Preservation of Natural History Collections 1994; Carter, D. y Walker, A. K. 1999; Simmons y Muñoz-Saba 2005; L. Rose, C. y R. de Torres, A. 2009; National Park Service 2012; González Fernández 2013; Canadian Conservation Institute 2017, 2020).

En este contexto, la implementación de herramientas como una base de datos de conservación, protocolos escritos de manipulación, limpieza, monitoreo ambiental, y un sistema estructurado de catalogación e inventariado ha representado una innovación relevante. A pesar de las diferencias con instituciones más avanzadas, existen similitudes metodológicas: tanto en UCME como en otras colecciones científicas, se reconoce la importancia de la digitalización para minimizar la manipulación física y facilitar el acceso a la información. Asimismo, el uso de fichas normalizadas y la clasificación del estado de conservación responden a principios ampliamente aceptados a nivel internacional. La diferencia principal está en la escala y el grado de sistematización: la Colección Jiménez de Asúa demuestra que es posible, incluso con recursos limitados, implementar estrategias eficientes, sostenibles y aplicables a otras colecciones patrimoniales.

El trabajo práctico con la colección Luis Jiménez de Asúa incluyó tareas de inventariado, catalogación y documentación. Para ello, se evaluó el estado de conservación de los ecofactos mediante fichas modelo diseñadas en colaboración con los responsables de la UCME. Estas fichas permitieron estructurar la información en una base de datos actualizada sobre los fondos de la colección.

Las tareas se realizaron siguiendo los protocolos internos adaptados para garantizar el tratamiento meticuloso de los ejemplares.

— Catalogación, documentación y etiquetado

El manejo de las 373 cajas y 22.499 ejemplares de la Colección Jiménez de Asúa se realizó siguiendo protocolos

detallados para garantizar su adecuada conservación y gestión. Cada caja fue fotografiada en formatos .RAW y JPG con una cámara Canon EOS 205D y un trípode Manfrotto, utilizando fondo neutro y escala visual. Durante este proceso también se retiraron pesticidas antiguos de origen desconocido cumpliendo con las medidas de protección requeridas (EPIs) y los protocolos de gestión de residuos de la facultad.

Las imágenes se organizaron digitalmente bajo una nomenclatura específica correspondiente a cada caja (siglas JA + número correlativo), lo que asegura la trazabilidad de la información [Figura 1]. Paralelamente, cada caja fue documentada en una hoja de cálculo de Google, donde se registró su estado de conservación, contenido, ejemplares, transcripción de las etiquetas, comercializador, y otros datos relevantes.

El inventariado se realizó evitando abrir innecesariamente las cajas, priorizando la observación a través del cristal protector. Se reetiquetaron tanto cajas como ejemplares con etiquetas de papel libre de ácido. A los especímenes se les asignó un código único siguiendo una nomenclatura compatible con la colección complutense (UCME_SCJA_00001, [...]_00002 etc.) [Figura 1]. Las etiquetas se clavaron a continuación de las ya existentes utilizando (además de los medios mencionados anteriormente) una espuma de polietileno para evitar daños.

Es importante recalcar que las etiquetas originales no se eliminan nunca, y que los datos recogidos de los ejemplares deben compararse con bases de datos reconocidas (ej. GBIF) para verificar y actualizar la información taxonómica.

Evaluación del estado de conservación

Para evaluar el estado de conservación de los especímenes se desarrollaron dos rúbricas basadas en los trabajos de Waller y Marcos Fernández (Marcos Fernández 2019; Waller 2003). Una evalúa las alteraciones de los ejemplares y otra de los contenedores [Tabla 1]. Estas rúbricas asignan valores numéricos (del 1 al 5) a las alteraciones o daños observados (moho, eflorescencias, oxidación, desgaste, etc.). La media de estos valores diagnostica el estado de conservación de cada ejemplar de forma individual entre los términos pésimo (1), inestable, medio, estable y óptimo (5). La suma de estas rúbricas supone una jerarquización de los ecofactos en base a su estado de conservación.

Esta metodología permite estandarizar la evaluación, priorizar las intervenciones urgentes, y establecer criterios de intervención individualizados. El sistema metodológico completo (las dos rúbricas y sus instrucciones) se integró en la ficha modelo para poder aplicar esta evaluación de forma sistemática a toda la colección.

— Condiciones ambientales

Para caracterizar las condiciones ambientales del espacio de almacenamiento se revisaron los informes arquitectónicos, documentación interna, y se colaboró con el personal técnico de la UCME. Los dispositivos de medición utilizados en la toma de datos de humedad relativa y temperatura eran termohigrómetros dataloggers. Los modelos concretos fueron el UT331+® para realizar mediciones semanales y el Elitech RC-51® para el registro continuo durante cinco meses, tomando una medición cada 15 minutos.

Los equipos y sus softwares (UNI-T® y Elitech Log®) permitieron registrar y exportar los datos en forma de gráficas de humedad relativa y temperatura, que se analizaron junto al resto de documentación para evaluar las condiciones ambientales y sus posibles riesgos. Este análisis se complementó con la revisión de elementos como el mobiliario, armarios, estanqueidad de las cajas entomológicas y el estado del sistema de climatización.

— Elección de campos y realización de base de datos

Los campos seleccionados para elaborar la ficha tipo fueron extraídos de la base de datos institucional de la UCME para facilitar el futuro volcado de los datos. Estos campos están relacionados con aspectos biológicos y administrativos de los ejemplares, a los que se han añadido otros relacionados con la conservación y la gestión para poder utilizar la ficha base como herramienta de conservación y gestión [Figura 2].

La información y documentación obtenida se volcó en una hoja de cálculo de Google, que actúa provisionalmente como base de datos. Contiene información relevante sobre las cajas y los ejemplares, así como las imágenes y datos de conservación. Aunque no es una base de datos profesional, es el repositorio más completo hasta la fecha de la colección. La transferencia de la información a la base de datos UCME será gestionada por una empresa externa siguiendo la normativa de la UCM.

JA 001	JA 002	JA 003	JA 004	JA 005	JA 006	JA 007	JA 008	JA 009	JA 010
UCME SCJA 00001	UCME SCJA 00002	UCME SCJA 00003	UCME SCJA 00004	UCME SCJA 00005	UCME SCJA 00006	UCME SCJA 00007	UCME SCJA 00008	UCME SCJA 00009	UCME SCJA 00010
UCME SCJA 00011	UCME SCJA 00012	UCME SCJA 00013	UCME SCJA 00014	UCME SCJA 00015	UCME SCJA 00016	UCME SCJA 00017	UCME SCJA 00018	UCME SCJA 00019	UCME SCJA 00020

Figura 1.- Modelo de etiquetas para las cajas (arriba) y los ejemplares (abajo).

RÚBRICA DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL CONTENEDOR					
Alteración/ Valor	1	2	3	4	5
Roturas en el contenedor	Fractura parcial o pérdida total del cristal y roturas en el cartón	Fracturas y/o desprendimiento del cristal, daños severos en el cartón	Fracturas leves del cristal. Daños representativos en el cartón	Pequeñas fracturas o picos en el cristal. No hay daños en el cartón o son leves	No hay fracturas en el cristal ni daños en el cartón
Moho/Manchas en el contenedor	80-100% de extensión	60-80% de extensión	40-60% de extensión	20-40% de extensión	0-20% de extensión
Quemaduras en el contenedor	Totales, incluyendo el contenido	Totales, contenido poco afectado	Parciales, contenido intacto	Parciales, muy superficiales	No presenta
Desgaste del contenedor	Total, incluyendo etiquetas exteriores	Total, etiquetas exteriores poco afectadas	Parcial, etiquetas exteriores intactas	Parcial, muy superficial	No presenta
Deformaciones en el contenedor	General, causa la pérdida de elementos externos	General, afecta a los elementos externos	Parcial, afecta levemente a los elementos externos	Parcial, no afecta a los elementos externos	No presenta
Papeles debilitados y acidificados	Muy grave. Color amarillo muy intenso	Grave. Color amarillo fuerte	Medio. Color amarillo medio	Leve. Color amarillo pálido	No presenta
Tintas oxidadas/envejecidas	Oxidación muy grave. Afectación total	Oxidación grave. Mucha afectación	Oxidación parcial. Mediana fectación	Oxidación leve. Poca afectación	No presenta
Adhesivos incorrectos u oxidados	Oxidación muy grave. Afectación total	Oxidación grave. Mucha afectación	Oxidación parcial. Mediana fectación	Oxidación leve. Poca afectación	No presenta
Contaminantes sólidos en suspensión	80-100% de extensión	60-80% de extensión	40-60% de extensión	20-40% de extensión	0-20% de extensión
Falta de información o disociación	Se dispone del 0-20% de la información	Se dispone del 20-40% de la información	Se dispone del 40-60% de la información	Se dispone del 60-80% de la información	Se dispone del 80-100% de la información
RELACIÓN ENTRE LA MEDIA Y EL ESTADO DE CONSERVACIÓN					
1	2	3	4	5	
Pésimo	Malo	Medio	Bueno	Óptimo	

Tabla 1.- Rúbrica para evaluar el estado de conservación de los contenedores entomológicos.

INVENTARIO UCN E.L.A.													
EJEMPLAR	LOCALIZACIÓN	ESPECIE/GÉNERO	CÓDIGO PERSONAL	NÚMERO	TIPO	SEXO	UBICACIÓN	LOCALIDAD	OBSERVACIONES	COLECCIÓN	SUBCOLECCIÓN	DO C	ALTITUD
UCNE_SCJA_04284	10/20/02/020/JA120	Cinnamomum bistripectum	Cinnamomum bistripectum	1	Hembra	Chile	Valle del Mar	UCNE	Luis Jiménez de Aza	3	L. J. Aza	15/05/1956	
UCNE_SCJA_04285	10/20/02/020/JA120	Myrsine nigricans	Myrsine nigricans	1	Hembra	Argentina	La Vista, Buenos Aires	UCNE	Luis Jiménez de Aza	3	L. J. Aza	08/02/1955	
UCNE_SCJA_04286	10/20/02/020/JA120	Myrsine nigricans	Myrsine nigricans	1	Hembra	Argentina	San Pedro, Entre Ríos	UCNE	Luis Jiménez de Aza	2	L. J. Aza	20/01/1955	
UCNE_SCJA_04287	10/20/02/020/JA120	Myrsine nigricans	Myrsine nigricans	1	Hembra	Argentina	Buenos Aires	UCNE	Luis Jiménez de Aza	2	L. J. Aza	31/01/1956	
UCNE_SCJA_04288	10/20/02/020/JA120	Myrsine nigricans	Myrsine nigricans	1	Hembra	Argentina	La Plata, Corrientes	UCNE	Luis Jiménez de Aza	2	L. J. Aza	27/04/1951	
UCNE_SCJA_04289	10/20/02/020/JA120	Myrsine nigricans	Myrsine nigricans	1	Hembra	Argentina	Santa Fe, Corrientes	UCNE	Luis Jiménez de Aza	3	L. J. Aza	28/04/1951	
UCNE_SCJA_04290	10/20/02/020/JA120	Myrsine nigricans	Myrsine nigricans	1	Hembra	Argentina	La Plata, San Carlos	UCNE	Luis Jiménez de Aza	2	L. J. Aza	12/04/1951	
UCNE_SCJA_04291	10/20/02/020/JA120	Myrsine	Myrsine	1	---	Argentina	La Plata, Corrientes	UCNE	Luis Jiménez de Aza	2	L. J. Aza	27/04/1951	
UCNE_SCJA_04292	10/20/02/020/JA130	Myrsine	Myrsine	1	---	Argentina	Costa de Entre Ríos	UCNE	Luis Jiménez de Aza	3	L. J. Aza	26/04/1951	
UCNE_SCJA_04293	10/20/02/020/JA130	Myrsine	Myrsine	1	---	Argentina	Costa de Entre Ríos	UCNE	Luis Jiménez de Aza	3	L. J. Aza	26/04/1951	
UCNE_SCJA_04294	10/20/02/020/JA130	Myrsine	Myrsine	1	---	Colombia	Barro Colorado	UCNE	Luis Jiménez de Aza	2	L. J. Aza	12/05/1945	
UCNE_SCJA_04295	10/20/02/020/JA130	Myrsine	Myrsine	1	---	Argentina	Buenos Aires	UCNE	Luis Jiménez de Aza	2	L. J. Aza	25/05/1956	
UCNE_SCJA_04296	10/20/02/020/JA130	Myrsine	Myrsine	1	Hembra	Argentina	Resistencia	UCNE	Luis Jiménez de Aza	2	L. J. Aza	18/05/1951	
UCNE_SCJA_04297	10/20/02/020/JA130	Myrsine	Myrsine	1	---	Venezuela	Caracas	UCNE	Luis Jiménez de Aza	2	L. J. Aza	06/05/1945	
UCNE_SCJA_04298	10/20/02/020/JA130	Myrsine	Myrsine	1	---	Venezuela	Caracas	UCNE	Luis Jiménez de Aza	2	L. J. Aza	06/05/1945	
UCNE_SCJA_04299	10/20/02/020/JA130	Myrsine	Myrsine	1	Hembra	Argentina	San Juan, Buenos Aires	UCNE	Luis Jiménez de Aza	2	L. J. Aza	01/06/1951	
UCNE_SCJA_04300	10/20/02/020/JA130	Myrsine	Myrsine	1	---	Brazil	Coritiba, Paraná	UCNE	Luis Jiménez de Aza	2	L. J. Aza	18/02/1948	
UCNE_SCJA_04301	10/20/02/020/JA130	Myrsine	Myrsine	1	---	Argentina	Palmar, Buenos Aires	UCNE	Luis Jiménez de Aza	2	L. J. Aza	28/11/1947	
UCNE_SCJA_04302	10/20/02/020/JA130	Capitata hyalina	Capitata hyalina	1	---	Argentina	Palmar, Buenos Aires	UCNE	Luis Jiménez de Aza	4	L. J. Aza	28/11/1947	
UCNE_SCJA_04303	10/20/02/020/JA130	Duripha	Duripha	1	Hembra	Chile	Puerto	UCNE	Luis Jiménez de Aza	3	L. J. Aza	04/05/1941	
UCNE_SCJA_04304	10/20/02/020/JA130	Duripha	Duripha	1	Hembra	Chile	Puerto	UCNE	Luis Jiménez de Aza	3	L. J. Aza	04/05/1941	
UCNE_SCJA_04305	10/20/02/020/JA130	Duripha muscosa	Duripha muscosa	1	---	Argentina	Misiones	UCNE	Luis Jiménez de Aza	3	L. J. Aza	04/05/1941	
UCNE_SCJA_04306	10/20/02/020/JA130	Duripha muscosa	Duripha muscosa	1	Hembra	Chile	Ranco	UCNE	Luis Jiménez de Aza	3	L. J. Aza	31/05/1956	
UCNE_SCJA_04307	10/20/02/020/JA130	Duripha verrucosa	Duripha verrucosa	1	---	Chile	Sucre	UCNE	Luis Jiménez de Aza	1	L. J. Aza	24/02/1942	
UCNE_SCJA_04308	10/20/02/020/JA130	Orasacodes cinnamomea	Orasacodes cinnamomea	1	Hembra	Chile	Puerto	UCNE	Luis Jiménez de Aza	3	L. J. Aza	05/05/1941	
UCNE_SCJA_04309	10/20/02/020/JA130	Orasacodes cinnamomea	Orasacodes cinnamomea	1	Hembra	Chile	Puerto	UCNE	Luis Jiménez de Aza	3	L. J. Aza	05/05/1941	
UCNE_SCJA_04310	10/20/02/020/JA130	Orasacodes cinnamomea	Orasacodes cinnamomea	1	Hembra	Chile	Puerto	UCNE	Luis Jiménez de Aza	2	L. J. Aza	04/05/1941	
UCNE_SCJA_04311	10/20/02/020/JA130	Mollipha sublinea	Mollipha sublinea	1	Hembra	Argentina	Resistencia	UCNE	Luis Jiménez de Aza	3	L. J. Aza	---	
UCNE_SCJA_04312	10/20/02/020/JA130	Mollipha sublinea	Mollipha sublinea	1	Hembra	Argentina	Resistencia	UCNE	Luis Jiménez de Aza	3	L. J. Aza	---	
UCNE_SCJA_04313	10/20/02/020/JA130	Mollipha sublinea	Mollipha sublinea	1	---	Argentina	La Plata, San Carlos	UCNE	Luis Jiménez de Aza	2	L. J. Aza	12/04/1951	
UCNE_SCJA_04314	10/20/02/020/JA130	Mollipha basimaculata	Mollipha basimaculata	1	Hembra	El Salvador	La Plata, San Salvador	UCNE	Luis Jiménez de Aza	2	L. J. Aza	23/05/1952	
UCNE_SCJA_04315	10/20/02/020/JA130	Catantophila socialis	Catantophila socialis	1	Hembra	Chile	Valle del Mar	UCNE	Luis Jiménez de Aza	3	L. J. Aza	30/06/1955	
UCNE_SCJA_04316	10/20/02/020/JA130	Catantophila socialis	Catantophila socialis	1	Hembra	Chile	Valle del Mar	UCNE	Luis Jiménez de Aza	2	L. J. Aza	30/06/1955	
UCNE_SCJA_04317	10/20/02/020/JA130	Duripha	Duripha	1	---	Peru	---	UCNE	Luis Jiménez de Aza	1	L. J. Aza	01/05/1956	

Figura 2.- Pantallazo del inventario con campos relativos al ámbito biológico, administrativo y de conservación-restauración. De izquierda a derecha son: ejemplar, localización, especie/género, código personal, número de ejemplares, tipo, sexo, ubicación, localidad, observaciones, colección, subcolección, estado de conservación, altitud, recolector, fecha de recolección, determinador, fecha de préstamo.

Estado de la colección

— Estado de conservación

El estudio del estado de conservación de la colección entomológica Jiménez de Asúa tras el análisis de las rúbricas realizadas, evidencia una situación compleja, con diversos tipos de deterioro en cajas y ejemplares. Aunque el estado general es relativamente estable, se identifican daños significativos que comprometen su integridad y valor científico. Estos deterioros se deben tanto a factores intrínsecos, propios de los materiales, como a factores extrínsecos, relacionados con el entorno o un manejo inadecuado a lo largo del tiempo [Tabla 2].

FACTORES INTRÍNSECOS	Composición química y naturaleza orgánica		
	Preparación de los ejemplares		
FACTORES EXTRÍNSECOS	Abióticos		
	Bióticos	No antrópicos	
		Antrópicos	Negligentes
			Voluntarios

Tabla 2.- Resumen de la clasificación general de los tipos de factores de deterioro.

— Daños en los contenedores

Los contenedores, en su mayoría normalizados para colecciones entomológicas, presentan varias afecciones relevantes generalizadas, como la utilización de materiales incorrectos y la acidificación. Un daño común es la rotura o pérdida de cristales protectores, lo que compromete la estanqueidad de las cajas y favorece ataques biológicos. También se han detectado manchas producidas por pesticidas no retirados y por los productos de preparación de los ejemplares, especialmente en insectos blandos como polillas o mariposas.

Se identificaron quemaduras sin origen claro localizadas en algunas cajas, y desgastes provocados por el sistema de almacenamiento [Figura 3a y b]. Muchas cajas presentan deformaciones, especialmente aquellas reutilizadas (como cajas de puros), lo que genera fallos en el cierre hermético [Figura 3c]. La acidificación del papel y cartón, junto con la oxidación de tintas y adhesivos incorrectos (como etiquetas de Dymo® o cinta adhesiva), contribuyen al deterioro material generalizado [Figura 3d]. La presencia de polvo superficial y manchas grasas en la base de las cajas indican una falta de protocolos de limpieza adecuados.

La disociación entre cajas e información es otro problema estructural grave. La mayoría de los fondos carecen de documentación asociada y muchas cajas comparten numeraciones repetidas, lo que genera confusión y pérdida de valor informativo.

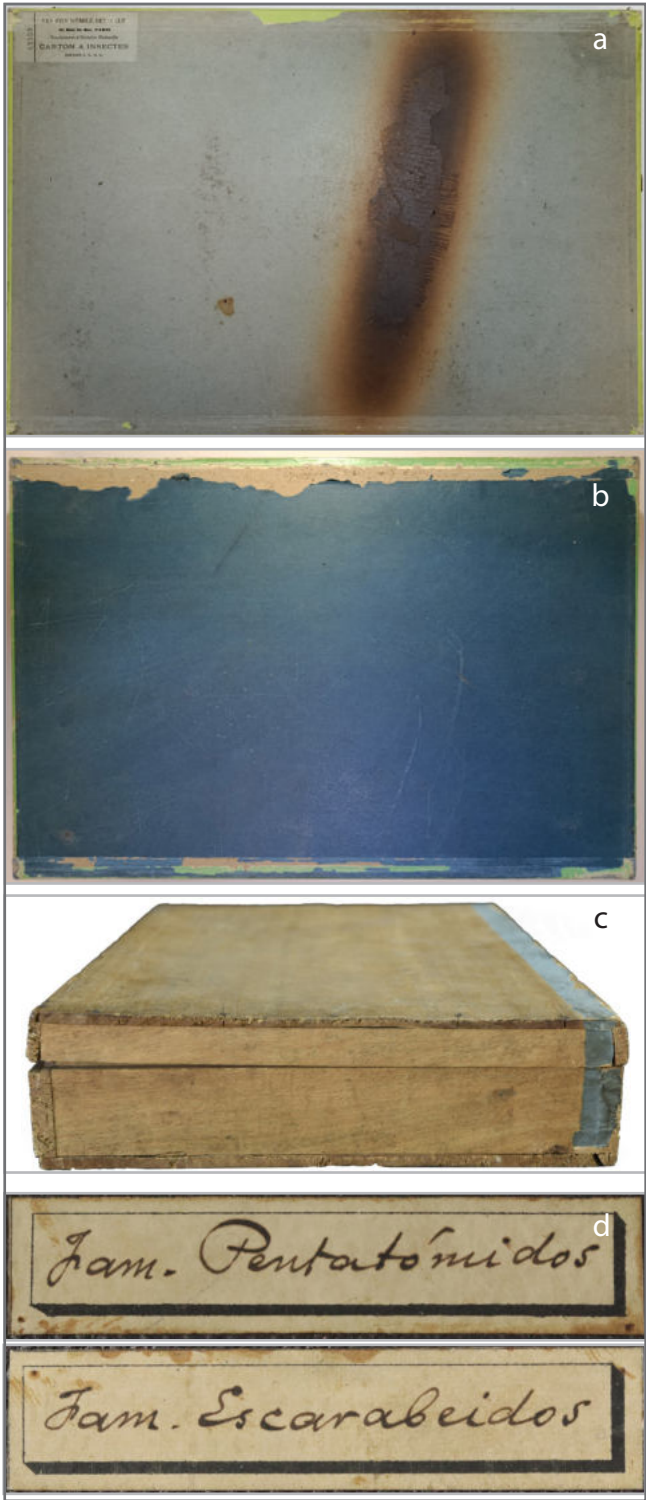


Figura 3.- Ejemplo de los daños observados en los contenedores: a) quemaduras, b) desgaste provocado por la manipulación y roce, c) deformaciones y pérdida de hermeticidad; d) acidificación de papeles y oxidación de tintas.

— Daños en los ejemplares

Los ejemplares también presentan un estado de conservación complejo, con daños severos que se encuentran relativamente estables gracias a un entorno controlado. Uno de los más graves, pero menos frecuente es la desaparición de ejemplares,

posiblemente sustraídos por error, de forma deliberada o bien por encontrarse en malas condiciones y eliminarlo. La falta de especímenes se presume por la presencia de huecos con etiqueta, pero no se puede verificar al no existir inventarios.

Otro daño relevante es la presencia de eflorescencias blanquecinas en la superficie de insectos blandos, probablemente relacionadas con productos usados en su preparación, como naftalina o paradiclorobenceno. Aunque no se ha confirmado su uso en esta colección por falta de análisis, son productos utilizados generalmente en estas colecciones y podrían generar sales cristalizadas en superficie. También se han documentado ataques microbiológicos (moho, pudriciones) y biológicos (presencia de exuvias de larvas de *Anthrenus*), aunque estos últimos ya no están activos [Figura 4a]. Las consecuencias de estos procesos incluyen pérdida de masa, perforaciones y debilitamiento estructural de los ejemplares, o en ocasiones realmente graves, la destrucción completa del artrópodo. Además, la decoloración es común, especialmente en lepidópteros, afectando principalmente a los colores fríos (azules, verdes).

En términos estructurales, muchos ejemplares muestran debilidad, sobre todo en alas y apéndices, que se vuelven transparentes, quebradizos y terminan por desprenderse [Figura 4d]. Estos daños están íntimamente relacionados con el entorno ambiental y la antigüedad del montaje. La

fragilidad se convierte con frecuencia en desprendimientos completos, afectando incluso estructuras morfológicas mayores [Figura 4e].

La disociación de los ejemplares es otro problema crítico ya que muchos carecen de etiquetas o datos asociados, lo que impide identificar su origen, fecha de recolección o ubicación geográfica. Esto reduce significativamente su valor científico. A esto se suman intervenciones anteriores, como reparaciones con adhesivos o el uso de alas de otros ejemplares, prácticas comunes en colecciones históricas pero que hoy se consideran inadecuadas si no están bien documentadas [Figura 4f].

A estos daños hay que añadir el más extendido, la corrosión de los alfileres metálicos, que presentan productos de oxidación como hilos de cobre [Figura 4b] o manchas de óxidos. En este caso, no se pudo identificar mediante análisis la composición de los alfileres. Se sabe que contienen cobre porque el óxido de estos alfileres en forma de hilos arrugados de color azul verdoso, se encuentra en muchas colecciones históricas con alfileres cuya composición contenía cobre (Garner *et al.* 2011). También se identificaron mediante virajes en el color papeles altamente acidificados y tintas oxidadas, lo que afecta las etiquetas internas tanto como las externas. La presencia de adhesivos envejecidos en la fijación de los insectos a los alfileres puede generar daños adicionales, ya que muchas de estas sustancias no están formuladas para uso en conservación [Figura 4c].

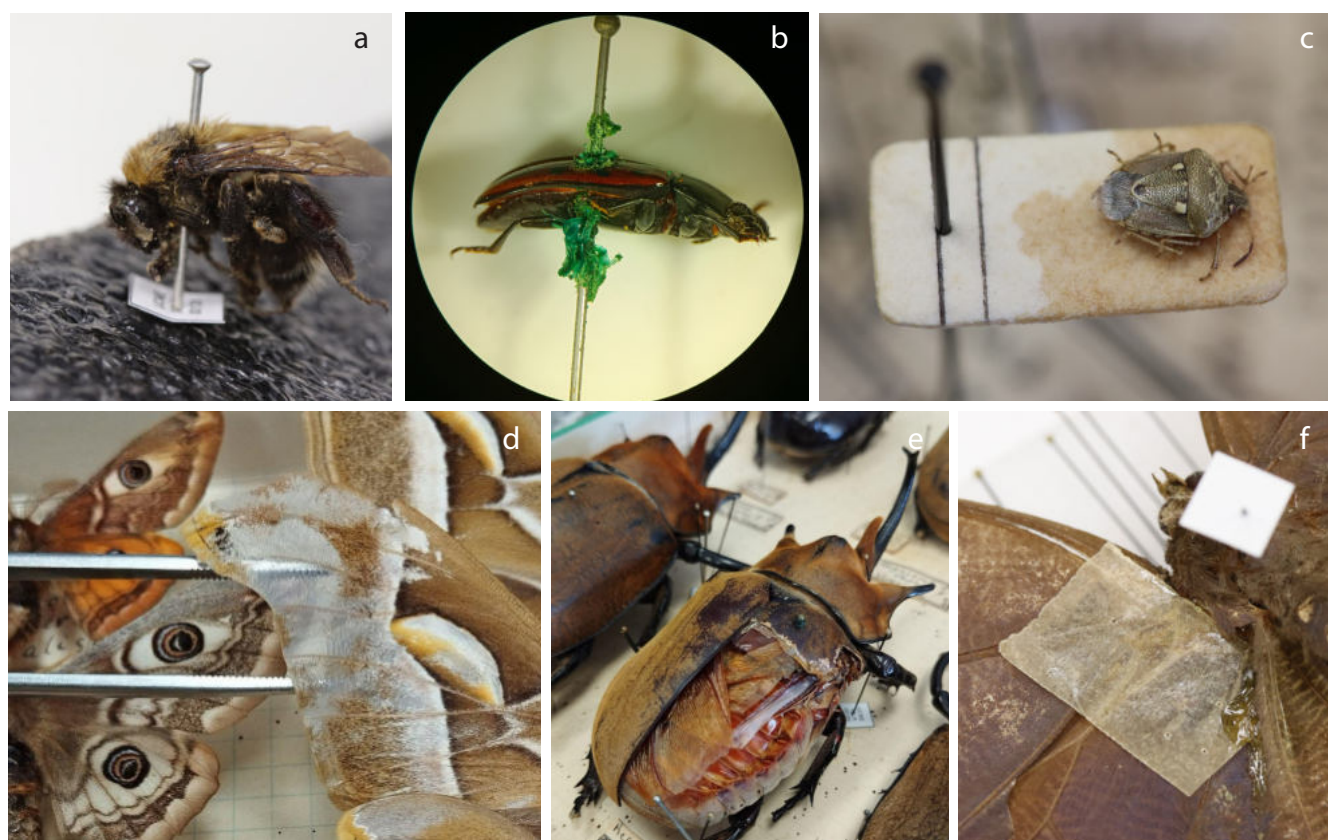


Figura 4.- Ejemplo de los daños observados en los ejemplares: a) exuvias de larva de *Anthrenus* en el abdomen de este himenóptero, b) productos de oxidación en forma de hilos deshilachados derivados de los alfileres con contenido de cobre, c) adhesivos inadecuados en el montaje de los ejemplares, d) debilidad en el apéndice de lepidóptero, e) desprendimientos de apéndices o partes morfológicas; f) intervenciones inadecuadas.

— Factores históricos y ambientales

Muchos de los deterioros actuales tienen su origen en el pasado de la colección. Durante años, los ejemplares estuvieron almacenados en condiciones inadecuadas en el domicilio del catedrático Luis Jiménez de Asúa en Buenos Aires, sin control de humedad, temperatura o plagas. Algunos daños —como quemaduras o manchas de agua— no afectan al conjunto de la colección, lo que sugiere que ocurrieron antes de su traslado a la Universidad Complutense de Madrid.

La acción de la luz ultravioleta, tanto UVA como UVB, ha provocado una decoloración acumulativa e irreversible, particularmente notable en lepidópteros. Esta exposición ha sido constante a lo largo del tiempo, agravando el deterioro del papel y los pigmentos.

La disociación informativa también se arrastra desde los orígenes: no hay evidencia de que la colección llegara a la UCME acompañada de registros científicos completos, y su integración en el UCME no incluyó un inventario detallado. Esto ha perpetuado la falta de control sobre la colección y dificulta enormemente su uso científico actual.

Factores y agentes de deterioro paliados

Desde la llegada de la colección Luis Jiménez de Asúa a la Universidad Complutense de Madrid, muchos de los factores de deterioro han sido controlados. En cuanto a

climatización, la UCME dispone de un sistema que intenta mantener la temperatura a 16 °C, aunque ocasionalmente supera los 20 °C debido a las características de la sala. También cuenta con una sala de congeladores para aplicar cuarentenas y tratamientos antiplagas en caso de infestaciones biológicas.

Aunque aún no se dispone de un sistema de monitoreo continuo, un estudio de cinco meses con el equipo Elitech RC-51® reveló fluctuaciones importantes en temperatura y humedad relativa [Figura 5]. Por ello, se ha aprobado un protocolo de seguimiento ambiental que contempla el uso de seis data loggers para registrar datos dentro de rangos ideales (10–20 °C y 30–50 % HR). Se prevén revisiones mensuales y una revisión anual, generando 13 informes al año. Todos los datos se almacenarán siguiendo una nomenclatura estandarizada para garantizar trazabilidad y gestión eficaz.

Dado que la colección se mantiene en condiciones relativamente estables y su manipulación es ocasional, el riesgo de deterioro por manejo es bajo. Aun así, se ha implementado una herramienta que relaciona el estado de conservación con las condiciones de acceso, de modo que solo el personal cualificado, o aquel que siga protocolos específicos, pueda manipular los ejemplares más frágiles, o bien acceder a ellos mediante consulta digital. Asimismo, se han reorganizado los fondos con el objetivo de reducir manipulaciones innecesarias, optimizar el espacio disponible y facilitar la consulta a través de listados plastificados colocados en el exterior de los armarios.

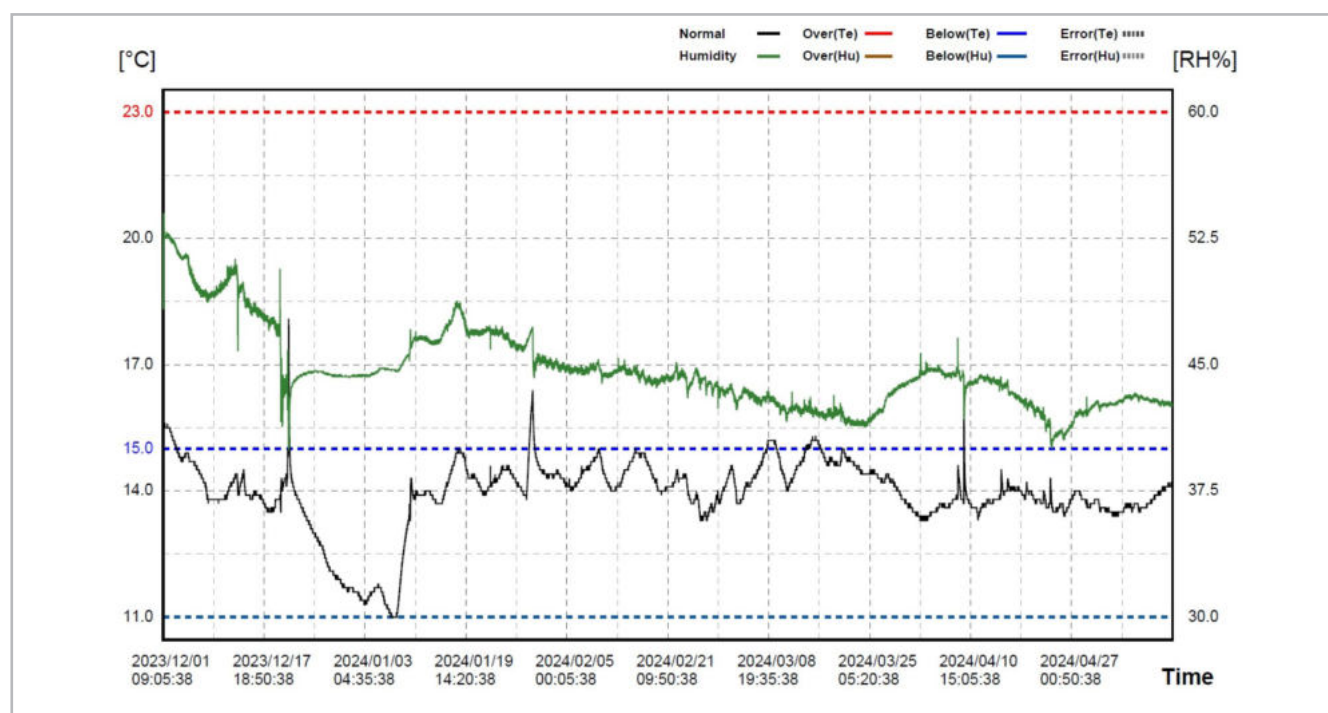


Figura 5.- Gráfica de humedad relativa (verde) y temperatura (negro) del Data logger Elitech RC-51®. La temperatura máxima alcanzada fueron algo más de 15°C y la mínima 11°C, con grandes fluctuaciones, al igual que la humedad relativa, cuyos valores máximos rondaron el 52% y los menores 38%. Las rayas discontinuas roja y azul brillante representan los extremos programados con los equipos, mientras que la raya discontinua azul oscuro representa la temperatura mínima alcanzada.

Por último, uno de los grandes factores de deterioro con los que contaba la colección, la disociación, ha sido paliado mediante el proceso de catalogación, inventariado y evaluación del estado de conservación. Toda la información de los ejemplares y sus contenedores queda asociada y recopilada a través de una base de datos digital. El etiquetado original sigue los preceptos fijados por el Código Internacional de Nomenclatura Zoológica, pero los materiales utilizados pueden catalizar o acelerar los procesos de degradación naturales de los materiales orgánicos (Comisión Internacional de Nomenclatura Zoológica 1999: 81; National Park Service 1999).

Posibles mejoras

En este apartado se proponen acciones fundamentales para alcanzar una gestión integral, como la adopción del método Significance 3.0. Esta herramienta evalúa el valor patrimonial de los ejemplares según criterios como unicidad, procedencia o valor emocional, facilitando la priorización de intervenciones y optimización de recursos (Reed 2018).

Aunque la colección UCME ya cuenta con un plan de riesgos (Arbizu Landaburu 2023), se considera imprescindible el desarrollo de un Plan de Conservación Preventiva completo adaptado a sus características. Este debería contemplar la significancia histórica, científica y cultural de los ejemplares, siguiendo guías oficiales del Ministerio de Cultura, como el Proyecto Coremans o la guía de planes de conservación preventiva (Ministerio de Cultura y Deporte 2019, 2021).

También se sugiere una documentación fotográfica completa de los ejemplares, especialmente de los tipos nomenclaturales, incluyendo al menos seis vistas por ejemplar (dorsal, ventral, lateral, anterior, posterior y detalle). Se plantea además el uso de fotogrametría para digitalizar en 3D los ejemplares más significativos.

La digitalización de etiquetas deterioradas, tanto internas como externas, es otra acción recomendada. Esto conservaría y facilitaría el acceso a la información para futuras investigaciones. Se debe mantener la nomenclatura y numeración originales y asociar la nueva documentación que pudiera encontrarse en otras instituciones.

También se propone asociar adecuadamente apéndices caídos (alas, patas, antenas) a sus respectivos ejemplares. Esta tarea requiere colaboración entre conservadores y biólogos para prevenir restauraciones incorrectas o falsas interpretaciones históricas.

Otra iniciativa relevante es la musealización de la colección como herramienta divulgativa. Se propone exponer ejemplares estables y representativos, complementando con recursos digitales e imágenes 3D que permitan al público disfrutar del contenido sin comprometer la conservación.

Conclusiones

Las colecciones entomológicas representan un valioso patrimonio científico, cultural e histórico que permite comprender la biodiversidad, evolución y comportamiento de los artrópodos a lo largo del tiempo. A través del estudio de la colección Luis Jiménez de Asúa, se evidencia la relevancia que estas colecciones han adquirido no solo como recursos científicos, sino también como elementos patrimoniales que requieren una atención técnica y metodológica específica para su adecuada conservación y gestión.

Históricamente, las colecciones de historia natural han evolucionado desde los gabinetes de curiosidades del Renacimiento hasta los actuales depósitos científicos y educativos que combinan técnicas modernas de preservación con herramientas digitales. Este proceso ha estado marcado por avances tecnológicos, el desarrollo de metodologías más precisas de conservación y una creciente conciencia sobre el valor patrimonial de estos fondos.

La colección Luis Jiménez de Asúa destaca como ejemplo paradigmático de cómo una colección privada, originalmente organizada de forma aficionada, puede adquirir gran relevancia gracias a un proceso riguroso de catalogación, digitalización y análisis técnico. A pesar de haber estado almacenada durante años en condiciones no óptimas, la incorporación de esta colección a la Universidad Complutense de Madrid y el trabajo realizado en el marco de prácticas profesionales del Máster Universitario de Conservación del Patrimonio Cultural han permitido recuperar, sistematizar y conservar una parte importante de su valor científico.

Entre las acciones más importantes del proyecto, se encuentra la identificación de múltiples daños tanto en los ejemplares como en sus contenedores, producto de factores como la oxidación, la acción de agentes biológicos, la disociación informativa y la inadecuada manipulación histórica. Estos deterioros comprometen la integridad del material, su utilidad científica y su valor patrimonial. Sin embargo, se han implementado herramientas innovadoras como rúbricas de evaluación del estado de conservación, bases de datos especializadas y protocolos de manejo y gestión, que permiten diagnosticar, priorizar y planificar intervenciones de forma objetiva y estandarizada.

La experiencia con esta colección resalta también la necesidad de adoptar un enfoque multidisciplinar, integrando la biología, conservación, informática y documentación. La colaboración entre especialistas permite abordar los distintos desafíos técnicos que presentan las colecciones entomológicas, desde la gestión del entorno ambiental hasta la digitalización de los datos y la implementación de medidas preventivas. Asimismo, la formación continua del personal y el desarrollo y aplicación de protocolos son claves para asegurar la sostenibilidad de estas acciones en el tiempo.

Una de las contribuciones más significativas del trabajo es el desarrollo de un sistema metodológico transferible a otras colecciones patrimoniales. Esto demuestra que, con recursos limitados, es posible aplicar buenas prácticas de conservación que garanticen la integridad del material y faciliten su uso futuro, tanto para la investigación como para la divulgación científica.

El análisis también subraya la importancia de la documentación asociada, como etiquetas, registros históricos y fotografías, elementos que muchas veces son tan valiosos como los propios ejemplares. Su correcta gestión y preservación es esencial para asegurar la trazabilidad y autenticidad de la información, pilares fundamentales del valor científico de cualquier colección. Finalmente, el estudio recomienda acciones futuras clave para mejorar la conservación de la colección, como el desarrollo de un Plan de Conservación Preventiva integral, la digitalización completa de los ejemplares y etiquetas, y la musealización parcial de la colección con fines educativos y divulgativos. Estas iniciativas no solo contribuirán a preservar el legado de Luis Jiménez de Asúa, sino que posicionarán a la colección UCME como un modelo de gestión patrimonial adaptado a los retos contemporáneos. En resumen, el caso de la colección Jiménez de Asúa demuestra que la adecuada conservación de colecciones entomológicas no es un lujo, sino una necesidad para preservar la memoria científica y natural. De este modo, se avanza hacia una gestión más eficaz y sostenible del patrimonio científico, integrando de manera efectiva la investigación, conservación y difusión con un enfoque cohesionado. Se garantiza así que estas fuentes de conocimiento continúen nutriendo la investigación y la educación durante generaciones futuras.

Bibliografía

- ARBIZU LANDABURU, C. (2023). *Desarrollo de un Plan de riesgos para el Museo de Entomología de la UCM (UCME)*. Trabajo Fin de Máster, Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- BELLÉS ROS, X. (2000). Ulisse Aldrovandi (1522-1605) y las bases de la entomología moderna. *Boletín de la SEA*, 27:6.
- CALVO MANUEL, A. et al. (2016). *Terminología básica de conservación y restauración del Patrimonio Cultural 2. Español – Inglés – Francés – Italiano – Alemán*. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/65741> [consulta 16/3/2025].
- CANADIAN CONSERVATION INSTITUTE. (2017). *Agents of deterioration*. <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration.html> [consulta 21/3/2025].
- CANADIAN CONSERVATION INSTITUTE. (2020). *Caring for natural history collections - Preventive conservation guidelines for collections*. <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/natural-history.html> [consulta 18/3/2025].
- CARTER, D. & WALKER, A. K. (1999). *Care and Conservation of Natural History Collections*. Oxford: Butterworth Heinemann. <https://www.natsca.org/care-and-conservation> [consulta 22/5/2025].
- CENTRO DE DOCUMENTACIÓN DE BIENES PATRIMONIALES. *Ecofactos* | Tesoro Regional Patrimonial. [Online]. Disponible en: <https://www.tesaurorregional.cl/terminos/353> [consulta 7/5/2025].
- COAKLEY LETTSOM, J. (1774). *The naturalist's and traveller's companion, containing instructions for collecting & preserving objects of natural history and for promoting inquiries after human knowledge in general*. The 2d ed. cor. & enl. By John Coakley Lettsom. London: E. & C. Dilly. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.79850> [consulta 27/5/2025].
- COMISIÓN INTERNACIONAL DE NOMENCLATURA ZOOLOGICA. (1999). *International Code of Zoological Nomenclature*. International Trust for Zoological Nomenclature. 4a ed. ICZN.
- COMPTE-SART, A. (2008). *In memoriam Salvador V. Peris Torres (1922-2007)*.
- CUERDA RIEZU, A. R. (2020). Actualidad de Luis Jiménez de Asúa en 2019, a los 130 años de su nacimiento y a los 49 de su muerte. *Anuario de derecho penal y ciencias penales*, 73 (1): 59–89. <https://doi.org/10.53054/adpcp.v73i1.1271>
- FRANCO DÁVILA, P. (1776). *INSTRUCCIÓN hecha de orden del Rei N. S. para que los Virreyes, Gobernadores, Corregidores, Alcaldes Mayores é Intendentes de Provincias en todos los Dominios de S. M. puedan hacer escoger, preparar y enviar á Madrid todas las producciones curiosas de Naturaleza que se encontraren en las Tierras y Pueblos de sus distritos, á fin de que se coloquen en el Real Gabinete de Historia Natural que S. M. ha establecido en esta corte para beneficio é instrucción pública*. Madrid. <http://archive.org/details/instruccionhecha00spai> [consulta 27/5/2025].
- GARNER, B., GIUSTI, A. AND KERLEY, M. (2011). Conservation of Insect Specimens Affected by Verdigris. *NatSCA News*, 50–59.
- GONZÁLEZ BUENO, A. Y BARATAS DÍAZ, A. (Eds). (2013). *Museos y colecciones de historia natural: investigación, educación y difusión*, Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural Época 2, T. 11. Madrid: Real Sociedad Española de Historia Natural, Facultades de Ciencias Biológicas y Geológicas, Univ. Complutense de Madrid.
- HANCOCK, E. G. Y BROWN, G. (2014). An unusual preparation of an eighteenth-century spider and its consequences. *Journal of the Institute of Conservation*, 37 (2): 110–119. <https://doi.org/10.1080/19455224.2014.915225>
- HUNTER, JOHN, Y HUNTER, J. (1809). *Directions for preserving animals and parts of animals for anatomical investigations: and concerning extraneous fossils*. London: J. Adlard. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.111073> [consulta 13/3/2025].
- KUSUKAWA, S. (2012). *Picturing the Book of Nature: Image, Text, and Argument in Sixteenth-Century Human Anatomy and Medical Botany*. University of Chicago Press. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226465289.001.0001> [consulta 26/5/2025].

L. ROSE, C. & R. DE TORRES, A (Ed). (2009). *Storage of Natural History Collections: Ideas and Practical Solutions*. Universidad de California: SPNHC.

MARCOS FERNÁNDEZ, F. (2019). *La conservación de material paleontológico: la colección de lo hueco*. UNED. Universidad Nacional de Educación a Distancia.

MARCOS FERNÁNDEZ, F. et al. (2025). Gestión, evaluación de las necesidades de conservación y jerarquización de una colección mediante su inventario. *Ge-conservacion*, 27 (1): 48–59. <https://doi.org/10.37558/gec.v27i1.1067>

MINISTERIO DE CULTURA Y DEPORTE. (2019). *Guía para la Elaboración e Implantación de Planes de Conservación Preventiva*. 1st ed. España: Ministerio de Cultura y Deporte. https://cvdof.ucm.es/moodle/pluginfile.php/178254/mod_resource/content/1/Gu%C3%ADa%20PCP_IPCE2019.pdf [consulta 30/5/2025].

MINISTERIO DE CULTURA Y DEPORTE. (2021). *Proyecto COREMANS: criterios de intervención en biopatrimonio*. 1st ed. España: Ministerio de Cultura y Deporte.

MUSEO NACIONAL DE CIENCIAS NATURALES Y CSIC. (1994). *Manual de catalogación y gestión de las colecciones científicas de historia natural, Manuales técnicos de museología*. Borja Sanchíz (Ed).

MUSEUMS AND GALLERIES COMMISSION. (1992). *Standards 2. in the Museum Care of Biological Collections*. The Collection Trust., 57.

NATIONAL PARK SERVICE. (2012). *The Museum Handbook Part II: Museum Records*. Washington, DC: National Park Service.

NATIONAL PARK SERVICE. (2016). *The Museum Handbook Part I: Museum Collections*. Washington, DC: National Park Service.

PETIVER, J. (1799). *Brief directions for the easie making, and preserving collections of all natural curiosities*.

REED, C. (2018). *Reviewing Significance 3.0*. Londres. <https://collectionstrust.org.uk/resource/reviewing-significance-3-0/> [consulta 24/5/2025].

ROLDÁN CAÑIZARES, E. (2019). *Luis Jiménez de Asúa, Carlos III. Historia del Derecho*. 1a. Madrid: Dykinson.

SIMMONS, J. E. Y MUÑOZ-SABA, Y. (Eds). (2005). *Cuidado, manejo y conservación de las colecciones biológicas*, Conservación internacional Serie Manuales de campo. Bogotá D.C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

SOCIETY FOR THE PRESERVATION OF NATURAL HISTORY COLLECTIONS. (1994). *Guidelines for the Care of Natural History Collections*. Disponible en: <https://cool.culturalheritage.org/byorg/spnhc/spnhc1.html> [consulta 24/3/2025].

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID. Vicerrectorado de Extensión Universitaria, Cultura y Deporte (Ed). (2015). *Museos y colecciones de la Universidad Complutense de Madrid*. <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-436/GUIA%20MUSEOS%20Y%20COLECCIONES%20UCM.pdf>

WALLER, R. (2003). *CULTURAL PROPERTY RISK ANALYSIS MODEL: Development and Application to Preventive Conservation at the Canadian Museum of Nature*. Ottawa, Canadá: Goteborg University.

Autor/es



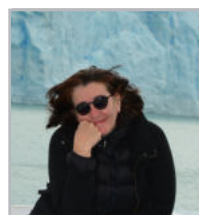
Klo Nieto García

kl Nieto@ucm.es

Facultad de Bellas Artes, Universidad Complutense de Madrid. Grupo de Biología Evolutiva, UNED

<https://orcid.org/0009-0000-6716-3187>

Klo Nieto García es graduado en Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural por la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y Máster en Conservación del Patrimonio por la misma universidad. Actualmente desarrolla su tesis doctoral en el campo de la conservación de colecciones entomológicas, centrando su investigación en estrategias de gestión, documentación y preservación preventiva de materiales de historia natural. Forma parte del Grupo de Biología Evolutiva (GBE) de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), donde colabora en proyectos vinculados a la conservación y documentación de colecciones paleontológicas y zoológicas. Además, participa en el proyecto de innovación docente Zoolúdico, orientado a integrar ciencia, arte y educación mediante metodologías participativas centradas en el juego y el aprendizaje activo. Ha trabajado en la gestión y conservación de fondos científicos, con publicaciones en *Docta Complutense*, entre ellas dos estudios aplicados a la Colección Jiménez de Asúa del Departamento de Zoología y a cajas entomológicas del UCME. Ha presentado sus investigaciones en congresos nacionales e internacionales como el *5th Palaeontological Virtual Congress*, el certamen *Tesis en 3' de la UCM* y la conferencia NEXT, centrada en la conservación de media art y documentación digital. Además, ha participado en iniciativas de divulgación como la Semana de la Ciencia, la Noche Europea de los Investigadores y la feria AULA, acercando la conservación del patrimonio natural al público general mediante exposiciones, talleres y actividades educativas.



Fátima Marcos Fernández

famarcos@ucm.es

Facultad de Bellas Artes, Universidad Complutense de Madrid. Grupo de Biología Evolutiva, UNE

<https://orcid.org/0000-0003-4287-3822>

Fátima Marcos Fernández es doctora en Ciencias por la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), con una tesis centrada en la conservación paleontológica (2019, mención internacional). Es licenciada en Prehistoria y Etnología por la Universidad Complutense de Madrid (UCM), graduada en Conservación y Restauración (especialidad en Arqueología) por la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Madrid, y máster en Conservación del Patrimonio por la UCM. Actualmente, es profesora en el Departamento de Pintura y Conservación-Restauración de la Facultad de Bellas Artes de la UCM. Su actividad académica y profesional se centra en la conservación

de materiales arqueológicos y paleontológicos, ámbito en el que acumula más de treinta años de experiencia como restauradora, investigadora y docente. Desde 2007 forma parte del Grupo de Biología Evolutiva de la UNED, donde desarrolla tareas de conservación-restauración vinculadas a proyectos de investigación paleontológica. Ha participado en proyectos científicos y campañas de excavación en España, Portugal y Argentina, y ha realizado estancias en instituciones internacionales como el Museum of Scotland (Edimburgo) o la Universidad Nacional de San Luis (Argentina). Imparte docencia universitaria en asignaturas vinculadas a la conservación arqueológica y dirige Trabajos de Fin de Grado y de Máster. Es autora de más de veinte publicaciones científicas y técnicas en revistas indexadas y ha participado en más de cincuenta congresos nacionales e internacionales. Compagina su labor docente e investigadora con una consolidada trayectoria profesional como restauradora autónoma, colaborando con administraciones públicas y museos en la conservación y restauración del patrimonio cultural. Entre los reconocimientos recibidos destacan la Placa al Mérito Regional de Castilla-La Mancha (2016) y el Premio Europa Nostra (2013) por la restauración del Teatro Romano de Medellín.



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1443>



II JORNADAS DE INVESTIGADORES JÚNIOR EN PATRIMONIO

Ge-conservación
Conservação | Conservation

Jornadas JIP - 2, 3 y 4 de abril de 2025

Biocleaning of Paraloid B72 and B82 acrylic resins: an exploratory study on increasing their bioavailability

Fabiana Martín-Caramés, Anxo Méndez, Clara Fernández-Garrido, Icíá Pérez, Patricia Sanmartín

Abstract: Exploratory assays aimed at enhancing the susceptibility of acrylic resins to microbial attack (their bioavailability) and thus facilitating xenobiotic biocleaning were conducted. The capacity of *Comamonas testosteroni*, *Enterobacter aerogenes* and *Rhodococcus erythropolis* to degrade Paraloid B72 and B82 acrylic resins with different particle sizes was tested in liquid media. Tween® 80, Tween® 20 and DMSO were also tested as pretreatment agents with *R. erythropolis* and the largest resin particles. Paraloid degradation was measured by weight loss, and bacterial growth, redox potential and carbon content were also measured. The smaller resin particles appeared more susceptible to microbial attack. *R. erythropolis* was the most promising bacterium for biocleaning. Although Paraloid B72 and B82 have a very similar chemical structure, the latter could be easier to clean than the former. Tween® 80 and to a lesser extent Tween® 20 appeared to increase the susceptibility of the resins to microbial attack.

Keywords: bacteria, biodegradation, bioremoval, cleaning, innovative restoration methods, investigative assays, microbial degradation, synthetic polymers

Biolimpieza de resinas acrílicas Paraloid B72 y B82: un estudio exploratorio sobre el aumento de su biodisponibilidad

Resumen: Se realizaron ensayos exploratorios destinados a incrementar la biodisponibilidad y facilitar así la biolimpieza de xenobióticos. Se evaluó la capacidad de *Comamonas testosteroni*, *Enterobacter aerogenes* y *Rhodococcus erythropolis* para degradar las resinas acrílicas Paraloid B72 y B82 con diferentes tamaños de partículas en medios líquidos. También se probaron Tween® 80, Tween® 20 y DMSO como agentes de pretratamiento con *R. erythropolis* y las partículas de resina más grandes. La degradación del Paraloid se midió por pérdida de peso, crecimiento bacteriano, potencial redox y contenido de carbono. Las partículas de resina más pequeñas parecían más susceptibles al ataque microbiano. *R. erythropolis* fue la bacteria más prometedora para la biolimpieza. Aunque el Paraloid B72 y el B82 tienen una estructura química muy similar, el segundo podría ser más fácil de eliminar que el primero. Tween® 80 y después, Tween® 20 parecieron aumentar la susceptibilidad de las resinas al ataque microbiano.

Palabras clave: bacteria, biodegradación, biorremediación, limpieza, métodos innovadores de restauración, ensayos de investigación, degradación microbiana, polímeros sintéticos

Introduction

Before the 1960s, the restoration of monuments and works of art was not regulated by technical or legal standards. Due to the destruction of a large part of the cultural heritage in Europe during the Second World War, designing ways of protecting heritage assets became more important in the following thirty years (1946-1976). Thus, the Venice Charter was established in 1964 (see e.g. Atalan 2018), while in 1963, the Italian art theorist Cesare Brandi published *Teoria del Restauro* (Theory of Restoration), a book that changed the way the

restoration is understood. This work laid the foundations for modern restoration, leading, in 1972, to the Italian Charter of Restoration and also adoption of the World Heritage Convention at UNESCO, a set of rules that remain in force (see e.g. Santabárbara 2017). At the same time, as noted by Cappitelli *et al.* (2021), the use of synthetic materials (especially vinyl and acrylic resins) in heritage conservation-restoration was almost standard practice. As these materials were considered to have suitable physical properties and are stable, transparent and resistant to (bio)degradation, they gradually replaced the traditional protective materials such as animal

glue, vegetable oils, casein and egg (see e.g. Fort 2007). However, it became apparent that many of the materials were not compatible with the treated substrate and caused changes in appearance, such as colour changes and fractures; the materials were also found to be difficult to remove (Troiano *et al.* 2014, Andreotti *et al.* 2018, Cappitelli *et al.* 2021, Bosch-Roig *et al.* 2023). According to Troiano *et al.* (2014) polymeric films or coatings in heritage works are usually removed by using surfactants or organic solvents such as acetone, xylenes, toluene and alcohols. However, these products are generally toxic, and thus potentially harmful to workers, in addition to being costly and not environmentally sustainable. Biocleaning has been used as an alternative treatment in the last few decades. Biocleaning is defined as the use of living organisms and/or their enzymes as cleaning agents by controlled reproduction of their metabolic processes (Weyer *et al.* 2015). In a recent review study, Ranalli and Zanardini (2021) reported that the first research on biocleaning applied to cultural heritage assets dated back to 1970. Thus, Moncrieff and Hempel (1970) used a poultice (probably including the bacteria *Desulfovibrio desulfuricans* and *Desulfovibrio vulgaris*) to remove black crusts (sulphates) and other salts, such as nitrates, from a stone surface. Although substances of natural origin (mainly sulphate and nitrate salts) have since been effectively removed by biocleaning (see e.g. Cappitelli *et al.* 2007, Gioventù *et al.* 2011, Bosch-Roig *et al.* 2013), polymeric coatings of synthetic origin are difficult to remove by biological methods (see e.g. Sanmartín *et al.* 2014, Bosch-Roig *et al.* 2023). However, some important progress has been made, such as the development of methods to determine the ability of bacterial strains to remove synthetic resins such as Paraloid B72 (Troiano *et al.* 2014), and the search for aerobic bacteria potentially capable of degrading spray paint graffiti (Sanmartín *et al.* 2015, Bosch-Roig *et al.* 2021, Cattò *et al.* 2021) and dammar varnish used in easel paintings (Avogaro *et al.* 2025). Nonetheless, successful removal of synthetic polymers by biocleaning remains challenging, and further efforts are required to enhance the effectiveness of the process.

A key factor in the biological degradation of a compound is its bioavailability (understood here as the accessibility of synthetic polymers or xenobiotics - synthetic chemical substances barely degradable - to the microbial attack). *A priori*, a xenobiotic will be more susceptible to attack if it is in a physical and/or chemical state that allows it to be more readily assimilated and subsequently degraded by microorganisms (Semple *et al.* 2004). It is therefore feasible that compounds with smaller particle sizes and more chemically reactive functional groups will be more susceptible to microbial attack. Microorganisms themselves also influence this susceptibility, as they can produce biosurfactants or extracellular enzymes that improve the solubility of some xenobiotics, such as polycyclic aromatic hydrocarbons (PHAs), crude oils, dyes and pesticides, making them more receptive

to biodegradation (Busi and Rajkumari 2017, Ortega-Calvo *et al.* 2020). In bioremediation studies involving contaminated soils, such as those carried out by Benyahia *et al.* (2016) and Gharibzadeh *et al.* (2016), elimination of these types of substances has also been enhanced by using surfactants, detergents and solvents. Use of these compounds has also been extended to the field of cultural heritage, in biocleaning methodologies combined with chemical treatments for removal of unwanted substances. Troiano *et al.* (2013) tested the performance of a nonionic surfactant, Tween® 20, as a pretreatment agent by applying it to the surface of a marble statue (by Lina Arpesani in 1921, which had stood in the courtyard of the *Cimitero Monumentale* in Milan, Italy) prior to biocleaning the statue with the bacterial strain *Desulfovibrio vulgaris* subsp. *vulgaris* ATCC 29579. More recently, Bosch-Roig *et al.* (2021) used Tween® 20 together with two microbial strains isolated from naturally aged graffiti in immersion assays aimed at evaluating graffiti biocleaning, obtaining different results: thus, while the bacterium *Rhodococcus erythropolis* performed best alone, addition of the surfactant to the yeast *Candida parapsilosis* enhanced oxidative degradation of the graffiti.

The Paraloid thermoplastic acrylic resins group (also known as Acryloid in USA) has been and still is extensively used in various applications in the conservation-restoration of rock, metal, glass and ceramics, mainly as an adhesive and consolidant (Vinçotte *et al.* 2019). Some of the most common resins include Paraloid B44, B66, B67, B72 and B82. The differences in chemical composition confer characteristics that enable optimal use of each type of resin with different materials and/or in different roles. Paraloid B44 is a copolymer of ethyl acrylate and methyl methacrylate (EA/MMA) containing 28.0% EA and 70.3% MMA, and a very small amount, around 1% of butyl methacrylate (BMA) (see e.g. Lazzari and Chiantore 2000). It is characterized by a high degree of hardness, making it popular for preserving artworks made of metals such as bronze (Molina *et al.* 2023). Paraloid B66 is a copolymer of around 50% methyl methacrylate and around 50% butyl methacrylate (MMA/BMA), and Paraloid B67 is a homopolymer of poly(isobutyl methacrylate) (PIBMA) (see e.g. Lazzari and Chiantore 2000). Paraloid B66 is primarily used as a maintenance coating on artworks, while Paraloid B67 is used as a varnish on paintings because it is the most water-resistant of these compounds, dries quickly and conserves the original colour of the paint (Chapman and Mason 2003). Paraloid B72 is composed of methyl acrylate and ethyl methacrylate (MA/EMA) and a small amount of 2.2% butyl methacrylate (BMA). Paraloid B72 is the polymer most widely used as a consolidant, adhesive and coating in the field of conservation-restoration, as it is the most thermostable (Molina *et al.* 2023). Paraloid B82 is a copolymer of ethyl acrylate and methyl methacrylate (EA/MMA), with proportions of 43.0% EA and 56.1% MMA, which makes it different from B44 (see

e.g. Lazzari and Chiantore 2000). It is also contained a very small amount, around 1% of butyl methacrylate (BMA). It is distinguished by a lower degree of hardness (softer) and greater flexibility than the other Paraloid resins, and it is the most widely used protective product in the conservation of historic ceramics (Petrénas *et al.* 2015).

The aim of this preliminary study was to explore ways of enhancing the susceptibility of xenobiotics to microbial attack (the bioavailability), with the aim of improving their removal by biocleaning, which has clear advantages over traditional physical and chemical removal methods (see e.g. Sanmartín *et al.* 2014). In the first assay, the capacity of the bacteria *Comamonas testosteroni*, *Enterobacter aerogenes* and *Rhodococcus erythropolis* (previously shown to be suitable candidates for bioremoval of xenobiotics) to degrade Paraloid B72 and B82 acrylic resins with different particle sizes (length 0.25 mm, 1 mm and 4 mm) was tested. The hypothesis here was that xenobiotics with smaller particle sizes would be more susceptible to bacterial attack (more bioavailable) than bigger counterparts, since smaller particles have a larger surface-to-volume ratio, which promotes bacterial colonisation, forming a biofilm around the Paraloid particle, as well as bio-fragmentation, assimilation, and mineralisation by the bacterium, steps that complete the biodegradation process by a microorganism. Two nonionic surfactants used as detergent additives (Tween® 80 and Tween® 20) and an organic solvent (dimethyl sulfoxide: DMSO) were then each tested as pretreatment agents in a similar experiment but using only *R. erythropolis* and resins with the largest particle size (4 mm). The hypothesis here was that applying a chemical pretreatment would

increase the susceptibility of the xenobiotic to bacterial attack (their bioavailability) for a similar reason to the previous assay, as the tested pretreatments reduce the surface tension of hydrophobic Paraloid, increasing its wettability and facilitating the biofilm formation around the Paraloid particle, first step of the biodegradation process. Degradation of the Paraloid resins was measured by weight loss, and bacterial growth, redox potential and carbon content were also measured in the liquid media.

The Figure 1 displays a schematic diagram of the experiments carried out in the present study.

Methodology

— Xenobiotic materials: Paraloid B72 and B82

Both bioavailability assays were carried out with the acrylic resins Paraloid B72 and Paraloid B82 [see Figure 2 for their chemical structures] supplied by CTS Spain (<https://shop-espana.ctseurope.com/>) as small elongated resin droplets about 4 mm long. Particle fractions of length 0.25 mm, 1 mm and 4 mm were prepared, taking as a reference 8 units of 4 mm long (as marketed) corresponding to a weight of 0.700 ± 0.054 g (analytical balance Denver Instruments, Colorado, USA). The 1 mm and 0.25 mm fractions were prepared by grinding in a Goldenwall HC-300 high speed multifunction grinder, and the fractions were separated in sieves of mesh sizes 0.25 mm, 0.5 mm 1 mm and 1.25 mm. All fractions were sterilised by exposure to 37% formaldehyde (Vorquímica S.L., Spain) for 48 hours, according to the protocol described by Sanmartín *et al.* (2015).

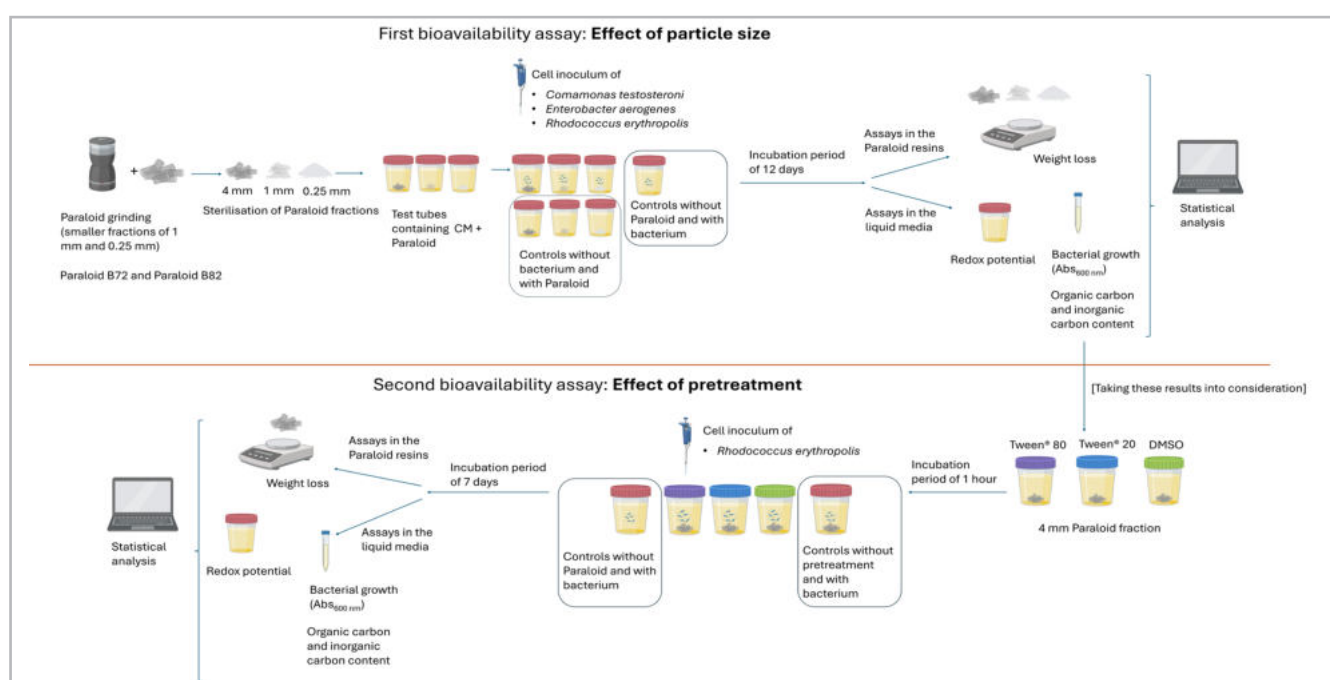


Figure 1.- Scheme of the experimental set-up.

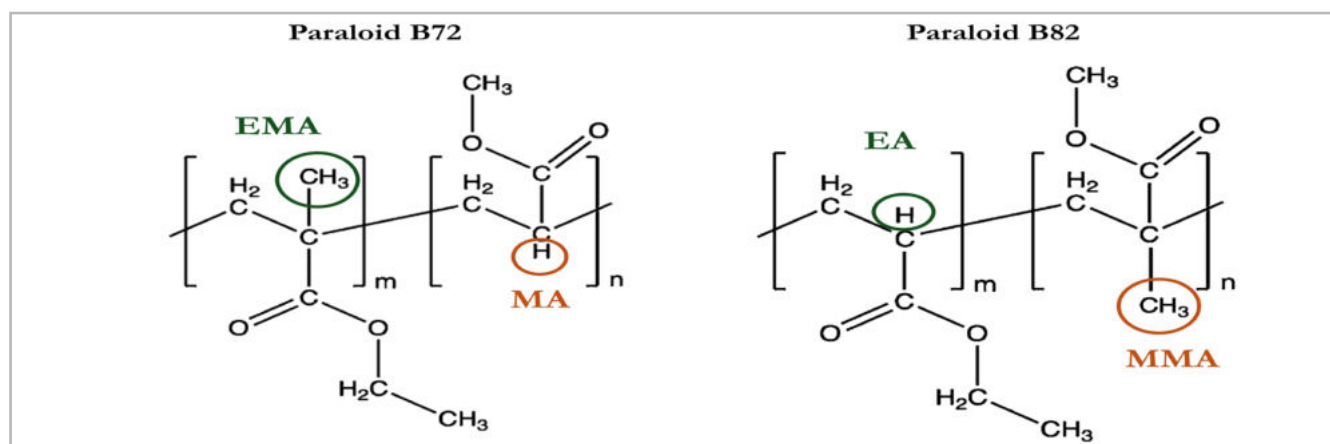


Figure 2.- Chemical structure of Paraloid B72 and B82, where B72 is a copolymer of ethyl methacrylate (EMA) and methyl acrylate (MA) and B82 is a copolymer of ethyl acrylate (EA) and methyl methacrylate (MMA).

— Bacteria selected for immersion assays

The bacteria selected were *Comamonas* (previously *Pseudomonas*) *testosteroni*, *Enterobacter* (previously *Aerobacter*; currently *Klebsiella*) *aerogenes* and *Rhodococcus erythropolis*, which has been demonstrated to be capable of degrading spray paint graffiti (Bosch-Roig *et al.* 2021, Cattò *et al.* 2021). All of the bacteria were identified by 16S rRNA sequences in the EzBioCloud database, before the start of the experiments. They were stored at -80°C in Tryptic Soy Broth (TSB) medium with 25% glycerol, before being reactivated for the experiments, carried out in Petri dishes containing Tryptic Soy Agar (TSA) medium. After growth in the Petri dishes, one colony per bacterium was inoculated in low nutrient (oligotrophic), Complete Mineral (CM) liquid medium (Cattò *et al.* 2021), slightly modified by replacing the small carbon source of sodium citrate with yeast extract, as follows: 10.5 g/L K_2HPO_4 , 1.13 g/L KH_2PO_4 , 1.0 g/L $(NH_4)_2SO_4$, 0.5 g/L yeast extract, 0.25 g/L $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, and 0.015 g/L $CaCl_2 \cdot H_2O$. Both bioavailability assays were carried out in sterile 50 mL test tubes containing 25 mL of CM liquid medium. In the test tubes with bacteria, 2.5 mL (10% of the total volume) of pure CM liquid culture of each bacterium, with an absorbance of 1.0 r.u. at a wavelength of 600 nm (Wichatham *et al.* 2024), was added.

— First bioavailability assay: Effect of particle size

Comparative tests varying the particle size were carried out with Paraloid B72 and B82, of length 0.25 mm, 1 mm and 4 mm. Immersion assays were carried out in CM liquid medium for a total of 12 days under aerobic conditions, darkness and gentle agitation at 30 °C. The assays were performed in triplicate, and included controls without the bacterium and with Paraloid, and controls without Paraloid and with the bacterium.

— Second bioavailability assay: Effect of pretreatment

Comparative tests were carried using only *R. erythropolis* and the Paraloid resins of the largest particle size (4 mm long), along with the surfactants Tween® 20 (Panreac, Spain) and Tween® 80

(Panreac-AppliChem, Spain) and the solvent dimethyl sulfoxide (DMSO) (Panreac-AppliChem, Spain). The pretreatments were carried out in aqueous solutions (25 mL) containing 1.5% of DMSO as this is the amount recommended for removal of Paraloid, according to the GE-IIC (<https://www.ge-iic.com>), and the same amount of Tween® 20 and Tween® 80, for 1 hour, darkness and agitation at 30 °C (Furukawa *et al.* 2018). The Paraloid particles were then washed with sterile distilled water until complete removal of residues of the pretreatment agents, and inoculated in CM liquid medium for a total of 7 days under aerobic conditions, darkness and gentle agitation at 30 °C in an assay similar to the first. Tests were performed in triplicate, and included controls without pretreatment and with bacterium, and controls without Paraloid and with bacterium.

— Weight loss of treated Paraloid resins

At the end of both assays, the percentage weight loss was calculated as follows: $[(w_o - w_f) / w_o] \times 100$, where w_o is the weight at the beginning of the assay and w_f is the weight at the end of assay. At the end of the assays, the Paraloid particles were first treated to remove any bacterial biofilm or other adhered compounds before being weighed. Thus, the liquid medium was removed and benzalkonium chloride (3%, 20 mL) was added to the Paraloid particles before incubation for 24-hours with shaking. The wash was then removed, sodium dodecyl sulphate (3%, 20 mL) was added, and the samples were incubated for another 24 hours under the same conditions. A final wash with distilled water was carried out under the same conditions as before, and the samples were rinsed with distilled water until complete removal of residues. The Paraloid particles were dried at 50°C for two days.

— Bacterial growth, redox potential and carbon content in the liquid media

Bacterial growth, measured as absorbance at 600 nm, was determined in a UV-VIS T8DCS spectrophotometer (Persee, China). The redox potential (ORP) was measured with a HI98194 multiparameter device (Hanna Instruments). Dissolved organic

carbon (DOC) and dissolved inorganic carbon (DIC) were measured in a TOC-5000 meter (Shimadzu, Japan).

— Statistical analysis

All data were analysed using R. Studio software (version 2024.12.0 + 467). The Shapiro-Wilk and Levene tests were used to verify data normality and homogeneity of variances, respectively. As some parameters did not meet the requirements for data normality or homogeneity of variance, non-parametric statistics were used. The Kruskal-Wallis test and the Conover post-hoc test were used for between group comparisons.

Results and discussion

—First assay: Effect of particle size

• Weight loss

Weight loss is probably the most reliable parameter for determining the biodegradation of plastic materials (see e.g.

Nanthini Devi *et al.* 2021). Comparison of material of the same particle size did not reveal any significant differences between the samples of both Paraloid resins and the controls without bacteria [Figure 3]. However, for both resins, the weight loss of the 0.25 mm fraction was significantly higher than for the 4 mm and 1 mm fractions in all cases. Compared to the controls and the other two bacteria, *R. erythropolis* appeared to cause greatest weight loss in the smallest fraction of Paraloid B72 (0.25 mm), although overall Paraloid B82 had greater weight losses.

• Bacterial growth

The absorbance values at 600 nm [Figure 4] were significantly higher in the presence than in the absence of bacteria, and they were also higher in the presence than in the absence of Paraloid resin.

• Redox potential

The ORP values [Figure 5] decreased significantly in the samples with *R. erythropolis*. The lower ORP values may be

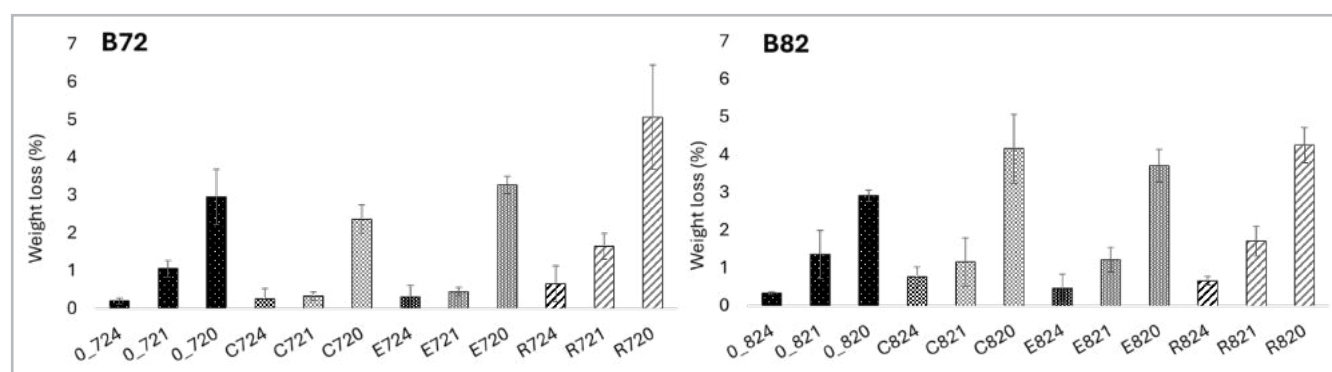


Figure 3.- Weight loss (%) of Paraloid B72 (B72) and Paraloid B82 (B82) at the end of the first bioavailability assay. Controls without bacterium and with Paraloid (0_), samples with *C. testosteroni* (C), samples with *E. aerogenes* (E), samples with *R. erythropolis* (R). Fraction sizes: 0.25 mm (0), 1 mm (1) and 4 mm (4). Histograms represent mean values and lines represent the standard deviation. No significant differences were found compared to controls.

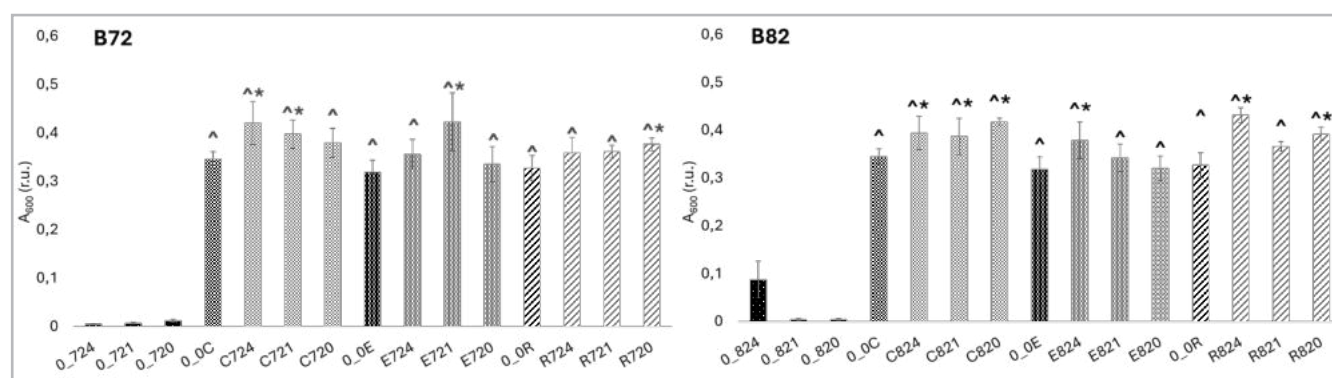


Figure 4.- Absorbance at 600 nm (r.u.) of the liquid media with Paraloid B72 (B72) and Paraloid B82 (B82) at the end of the first bioavailability assay. Controls without bacterium and with Paraloid (0_), controls without Paraloid and with bacterium (0_0), samples with *C. testosteroni* (C), samples with *E. aerogenes* (E), samples with *R. erythropolis* (R). Fraction sizes: 0.25 mm (0), 1 mm (1) and 4 mm (4). Histograms represent mean values and lines represent the standard deviation. The asterisks (*) indicate significant differences relative to controls 0_0 ($p \leq 0.05$). The arrows (^) indicate significant differences relative to controls 0_ ($p \leq 0.05$).

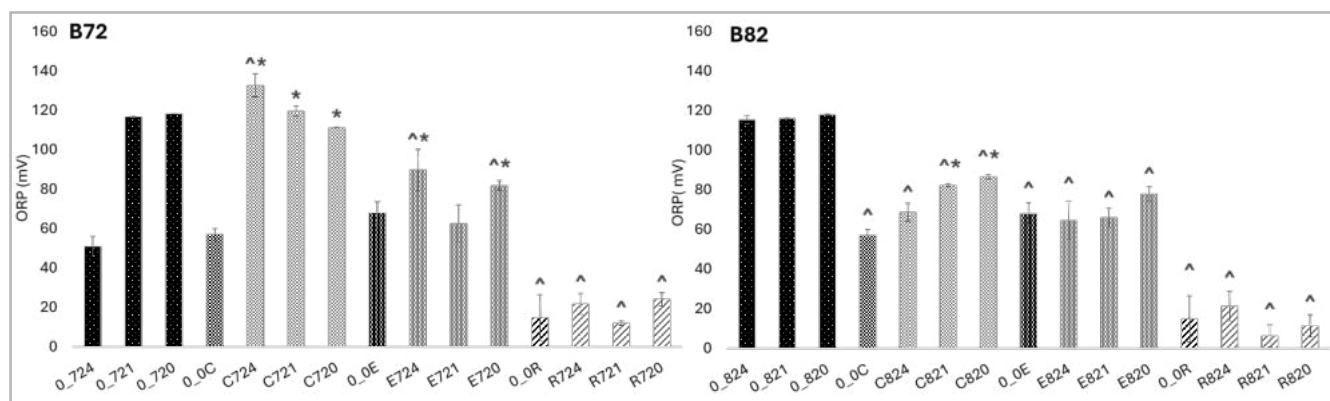


Figure 5.- Oxidation-reduction potential (mV) of the liquid media with Paraloid B72 (B72) and Paraloid B82 (B82) at the end of the first bioavailability assay. For explanation of types of controls and samples, abbreviations and significant differences relative to the controls and significance level, see legend of Figure 4.

related to the higher metabolic activity of *R. erythropolis* (Reichart *et al.* 2007). In samples with *C. testosteroni* and Paraloid B72, the ORP values increased significantly relative to both controls, without bacterium (in the 4 mm fraction) and without Paraloid (all fractions). In samples with Paraloid B82, the ORP value was significantly lower in all liquid media with bacteria than in the controls.

•Organic carbon and inorganic carbon content

For Paraloid B72, there was little variation in the DOC in the samples with bacterium relative to the control without bacterium [Figure 6], except for *R. erythropolis*, with

significantly lower DOC values, presumably related to the biodegradation of Paraloid (Cattò *et al.* 2021).

The DIC values were significantly higher in the samples with bacterium than in the control without bacterium [Figure 6]. This result is related to the absorbance at 600 nm value [Figure 4], and it may be indicative of bacterial growth and metabolic activity. For both Paraloid resins, significant differences relative to the control without Paraloid were found in *C. testosteroni* and *R. erythropolis*, with the latter causing higher DIC values in Paraloid B72. *Rhodococcus* sp. ZCONT (KY697119) was recently used to remove Primal resin from frescoes in the Carracci Gallery at the Palazzo Farnese in Rome and traces of Paraloid

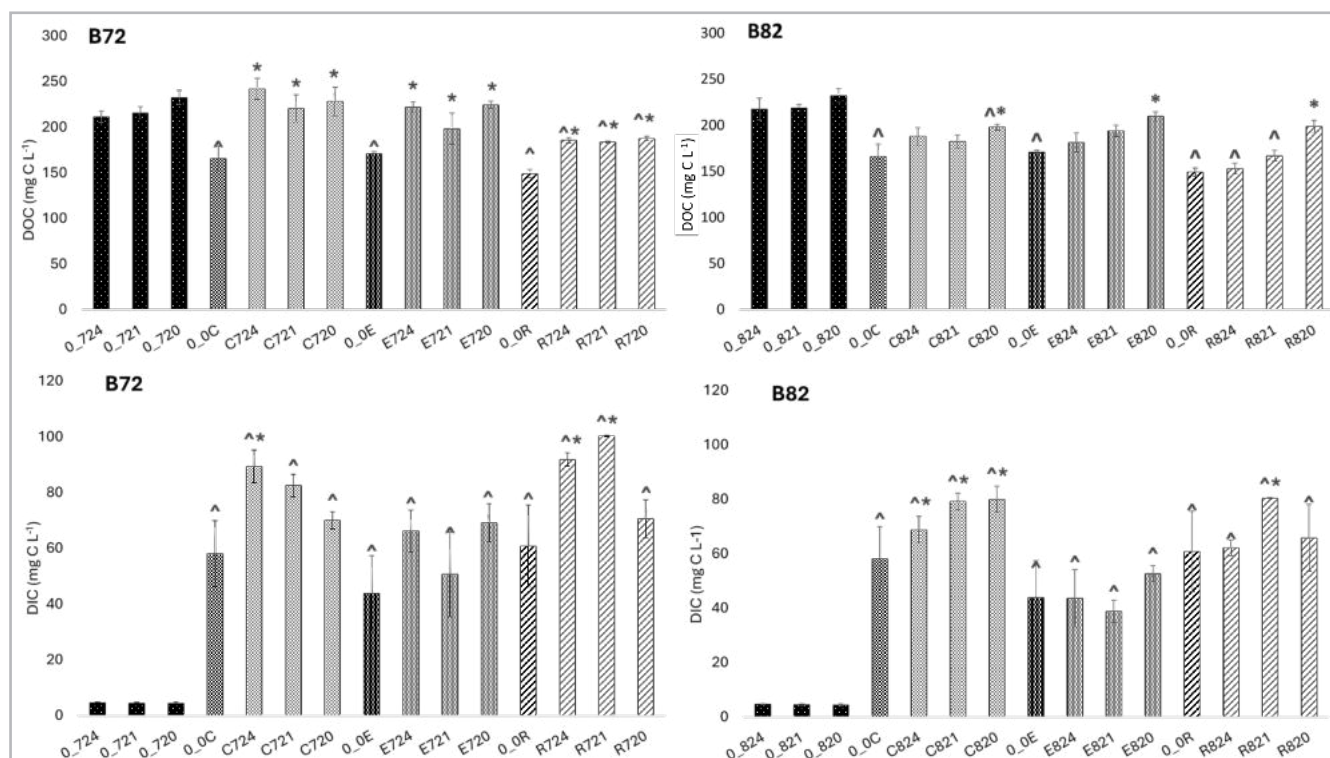


Figure 6.- Dissolved organic carbon (DOC) and dissolved inorganic carbon (DIC) (mg C L⁻¹) in the liquid media with Paraloid B72 (B72) and Paraloid B82 (B82) at the end of the first bioavailability assay. For explanation of types of controls and samples, abbreviations and significant differences relative to the controls and significance level, see legend of Figure 4.

B72 from the “Bacchus with basket” artwork, a Roman statue in Greek marble, property of the Turin Museum of Antiquities (Sprocati *et al.* 2021).

—Second assay: Effect of pretreatment

• Weight loss

There were no significant differences between the samples or the controls regarding the pretreatment [Figure 7], perhaps due to an insufficient incubation period of 7 days. However, Tween® 80 appeared to increase the susceptibility of Paraloid B72 to degradation by *R. erythropolis* to the greatest extent. A similar effect was observed in Paraloid B82 after pretreatment with Tween® 20.

• Bacterial growth

Regarding absorbance values at 600 nm [Figure 8], absorbance was significantly higher in the culture with Paraloid B72 but without any pretreatment than in controls without Paraloid and with bacterium. For Paraloid B82, the highest absorbance values were obtained with the Tween® 80 pretreatment, being together with the *R. erythropolis* without pretreatment significantly higher than controls without Paraloid and with bacterium.

• Redox potential

For the ORP measurement [Figure 9], no significant differences were found between samples and controls. However, when

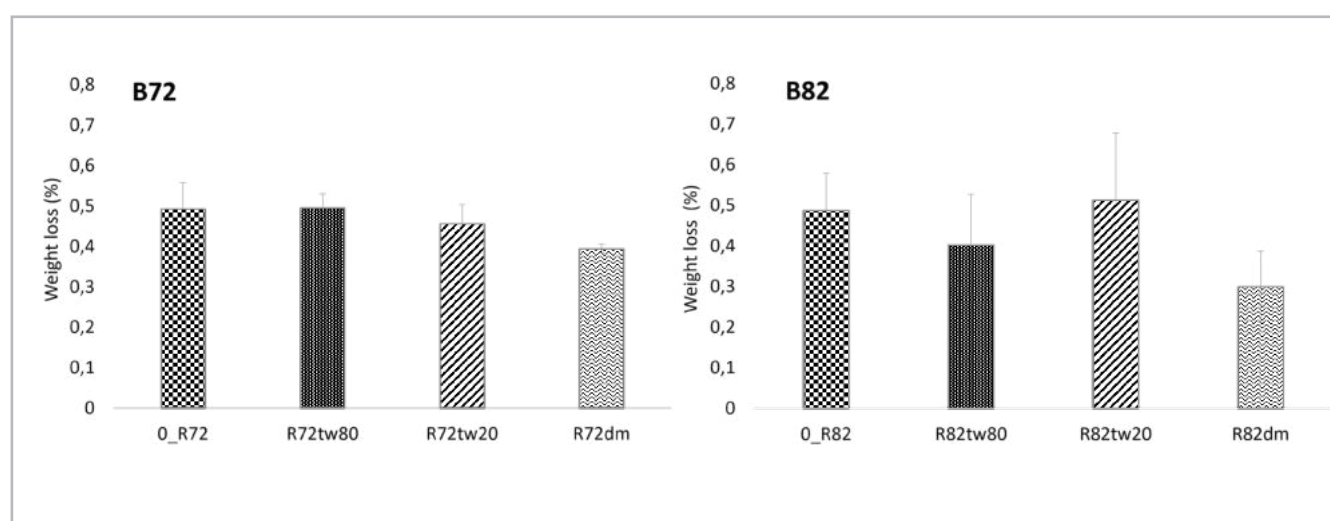


Figure 7.—Weight loss (%) of Paraloid B72 (B72) and Paraloid B82 (B82) of length 4 mm with and without *R. erythropolis* (R) at the end of the second bioavailability assay. Controls without pretreatment and with bacterium (O₀), pretreatment with Tween® 80 (tw80), pretreatment with Tween® 20 (tw20), pretreatment with DMSO (dm). Histograms represent mean values and lines represent the standard deviation. No statistically significant differences were found relative to controls or between treatments.

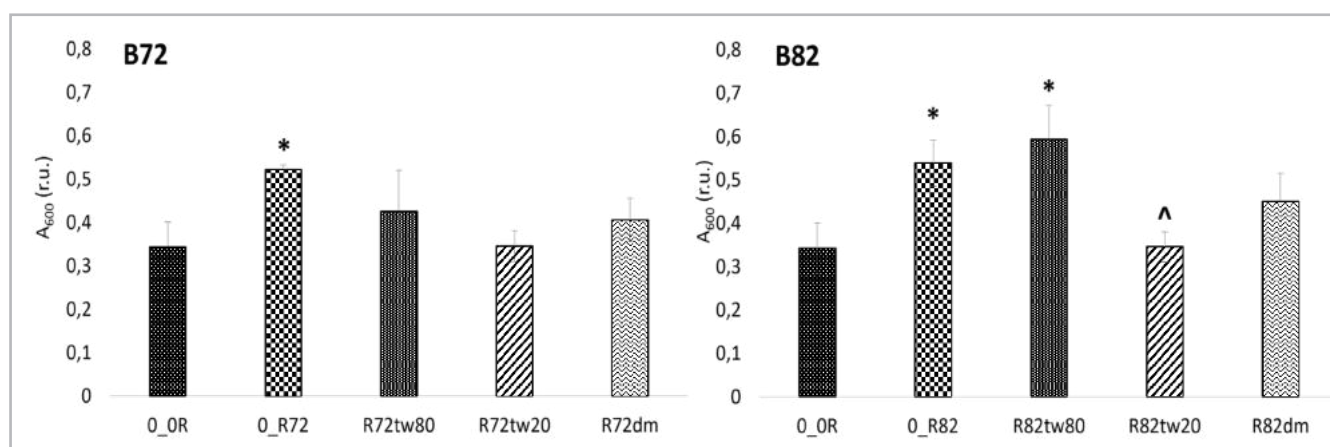


Figure 8.—Absorbance at 600 nm (r.u.) of the liquid media with Paraloid B72 (B72) and Paraloid B82 (B82) of 4 mm long and with *R. erythropolis* (R) at the end of the second bioavailability assay. Controls without Paraloid and with bacterium (O₀), controls without pretreatment and with bacterium (O₀), pretreatment with Tween® 80 (tw80), pretreatment with Tween® 20 (tw20), pretreatment with DMSO (dm). Histograms represent mean values and lines represent the standard deviation. The asterisks (*) indicate significant differences relative to controls O₀ (p ≤ 0.05). The arrows (^) indicate significant differences compared to controls O₀ (p ≤ 0.05).

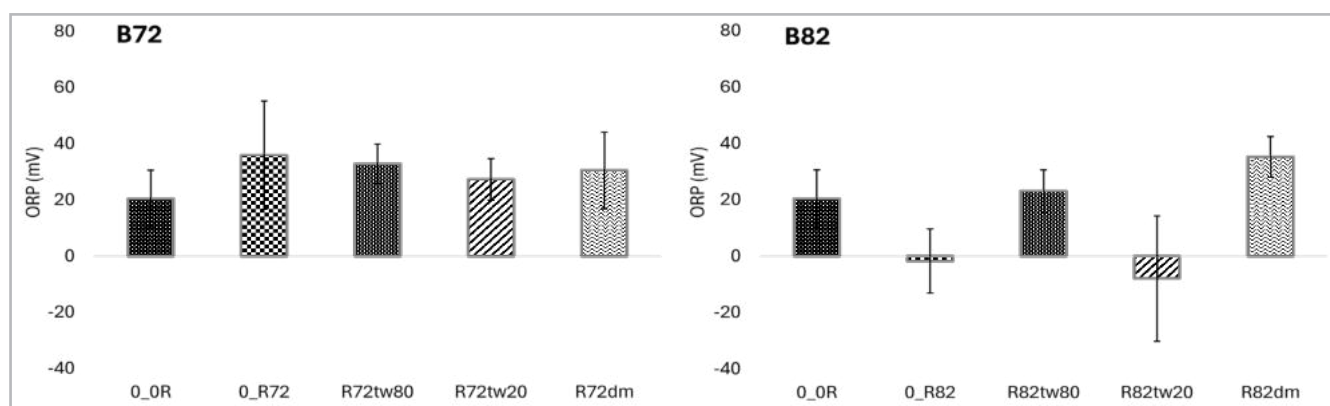


Figure 9.–Oxidation-reduction potential (mV) of the liquid media with Paraloid B72 (B72) and Paraloid B82 (B82) of particle size 4 mm and with *R. erythropolis* (R) at the end of the second bioavailability assay. For explanation of types of controls and samples, abbreviations and significant differences compared to the controls and significance level, see legend of Figure 8.

compared with the ORP values from the first assay [Figure 5], they remained low and, in this case, negative for the culture without pretreatment and for Tween® 20 in Paraloid B82. This may indicate that *R. erythropolis* reaches ORP values between 35 mV and -7 mV when grown in oligotrophic CM medium with or without the presence of Paraloid. [Figure 9].

• Organic carbon and inorganic carbon content

The DOC measurements for Paraloid B72 reached significantly higher values than controls without Paraloid

and with bacterium [Figure 10]. For Paraloid B82, only the pretreatment with Tween® 20 was significantly higher than controls without Paraloid and with bacterium. The DOC was higher in this assay than in the first assay [Figure 6], where the values reached were around 250 mg C L⁻¹ in the first and 800 mg C L⁻¹ in the second assay. As the incubation period was shorter, it is possible that the DOC in the medium was not metabolized by the bacteria or that the DOC was not completely bioavailable.

By contrast, the DIC values were similar to those obtained in the first assay [Figure 6], fluctuating around 100 mg C L⁻¹,

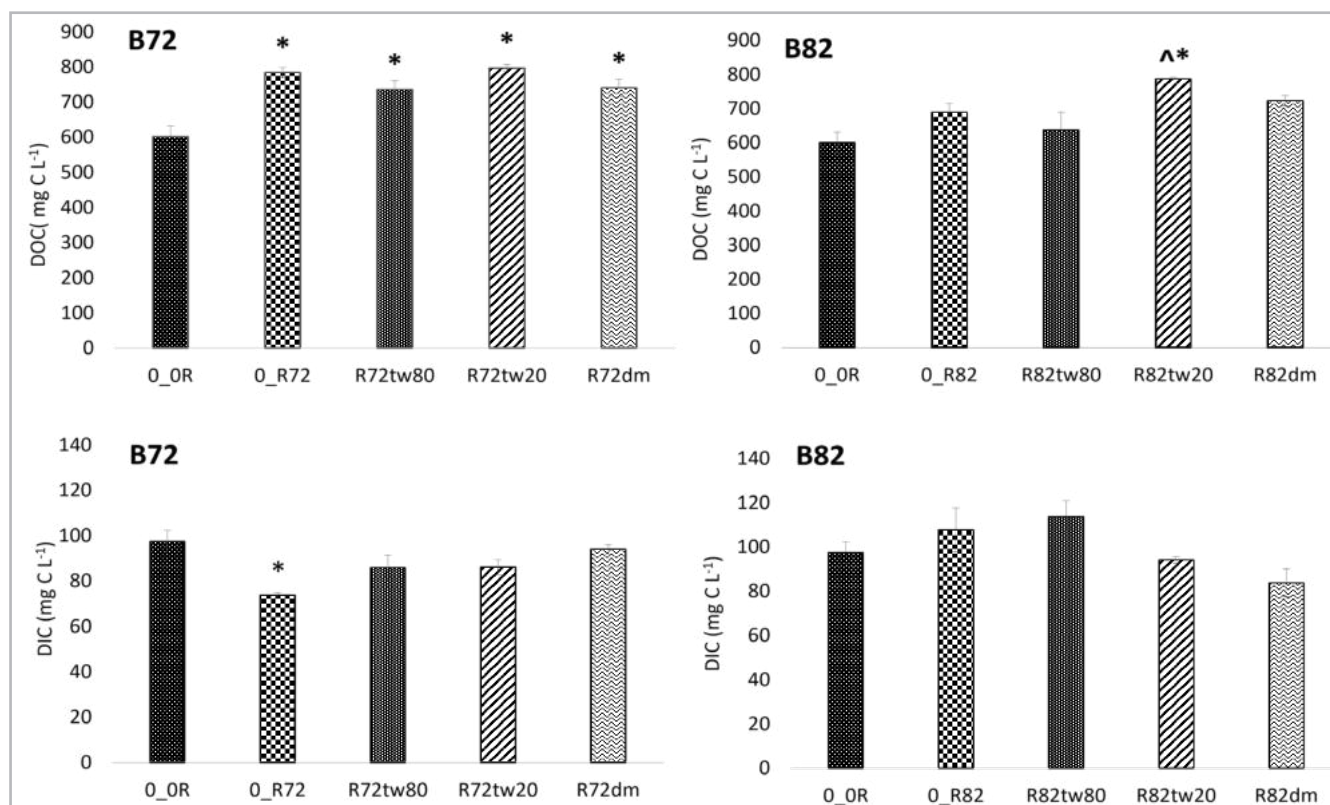


Figure 10.– Dissolved organic carbon (DOC) and dissolved inorganic carbon (DIC) (mg C L⁻¹) in the liquid media with Paraloid B72 (B72) and Paraloid B82 (B82) of length 4 mm and with *R. erythropolis* (R) at the end of the second bioavailability assay. For explanation of types of controls and samples, abbreviations and significant differences relative to the controls and significance level, see legend of Figure 8.

which indicates similar metabolic activity in these cultures. The highest DIC values for Paraloid B72 were obtained after pretreatment with DMSO, while the highest values for Paraloid B82 were obtained after pretreatment with Tween® 80 [Figure 10]. However, the only significant difference was a decrease in DIC for the Paraloid B72 with *R. erythropolis* culture without pretreatment.

In this test, Tween® 80 appeared to facilitate the susceptibility of the resins to microbial attack to a greater extent than the other pretreatments. Regarding the pretreatment agents, the results suggest that they act differently. This applies to weight loss [Figure 7], as pretreatment with Tween® 20 yielded a higher value in Paraloid B82 and Tween® 80 pretreatment yielded a higher value in Paraloid B72. However, in the biocleaning with *R. erythropolis* the absorbance values [Figure 8] and DOC [Figure 10], were scarcely affected.

Conclusions

1. Small particles of Paraloid B72 and B82 resins appear to be more susceptible to microbial attack than larger particles. However, the use of particles smaller than 1 mm increases the possibility of error in the tests, as well as not accurately representing the real conditions found in interventions on heritage assets, where the coatings are not as fragmented. Bacterial growth was higher in the presence than in the absence of Paraloid resin. The lower redox potential values, related to a higher metabolic activity, were found in the samples with *R. erythropolis*. Only *R. erythropolis* showed significantly lower DOC values, presumably related to the biodegradation of Paraloid. So, among the bacteria tested, *Rhodococcus erythropolis* showed the greatest potential for removal by biocleaning of both Paraloid resins. Paraloid B82 may be easier to removal than Paraloid B72 despite both having a very similar chemical structure.

2. Among the three pretreatment agents evaluated, Tween® 80 appeared to perform best for enhancing the biocleaning process, followed by Tween® 20. In addition, Tween® 80 appeared to work better with Paraloid B72 and Tween® 20 with Paraloid B82.

Acknowledgements

This study was developed within the framework of the BIOXEN project (PID2021-123329NA-I00) financial supported by the AEI/MCIU. F. Martín-Caramés is in receipt of a predoctoral contract for PhD training (2021-PN211) associated with the above-mentioned project. A. Méndez acknowledges receipt of a grant in the Programa de Doutoramento Industrial (04_IN606D_2021_2598528) financed by the Gain/Xunta de Galicia. C. Fernández-Garrido acknowledges receipt of a research collaboration grant (24CO1/005135) from MEFPD. P. Sanmartín acknowledges receipt of a Ramón y Cajal contract (RYC2020-029987-I) financed by the AEI/MCIN. The authors are also grateful for the Competitive Reference Group (GRC)

grant ED431C 2022/09 financed by the Gain/Xunta de Galicia.

References

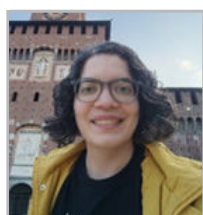
- ANDREOTTI, S., FRANZONI, E., DEGLI ESPOSTI, M., FABBRI, P. (2018). "Poly(hydroxyalkanoate)s-based hydrophobic coatings for the protection of stone in cultural heritage". *Materials*, 11(1): 1-26. <https://doi.org/10.3390/ma11010165>.
- AVOGARO, V., BOSCH-ROIG, M.D.P., CASTELLAGUSTÍ, M., SANMARTÍN, P. (2025) "Biocleaning of dammar varnish from easel paintings: an experimental preliminary approach". *International Journal of Conservation Science*, 16(2): 781-792. <https://doi.org/10.36868/IJCS.2025.02.02>.
- ATALAN, O. (2018). "Importance of cultural heritage and conservation concept in the architectural education". *Journal of Human Sciences*, 15(3): 1700-1710. <https://doi.org/10.14687/jhs.v15i3.5380>.
- BENYAHIA, F., EMBABY, A.S. (2016). "Bioremediation of crude oil contaminated desert soil: effect of biostimulation, bioaugmentation and bioavailability in biopile treatment systems". *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(2): 1-11. <https://doi.org/10.3390/ijerph13020219>.
- BOSCH-ROIG, P.; ROS, J.L.R., ESTELLÉS, R.M. (2013). "Biocleaning of nitrate alterations on wall paintings by *Pseudomonas stutzeri*". *International Biodeterioration & Biodegradation*, 84: 266-274. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.09.009>.
- BOSCH-ROIG, P., POZO-ANTONIO, J.S., SANMARTÍN, P. (2021). "Identification of the best-performing novel microbial strains from naturally-aged graffiti for biocleaning research". *International Biodeterioration & Biodegradation*, 159: 105206. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2021.105206>.
- BOSCH-ROIG, P., SÁNCHEZ-PONS, M., SANMARTÍN, P. (2023). "Eliminar xenobióticos del patrimonio cultural: un reto para la biolimpieza". PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, 31(110): 236-250. <https://doi.org/10.33349/2023.110.5387>.
- BUSI, S., RAJKUMARI, J. (2017). "Biosurfactant: a promising approach toward the remediation of xenobiotics, a way to rejuvenate the marine ecosystem". In *Marine pollution and microbial remediation*, 87-104. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1044-6_6.
- CAPPITELLI, F., TONIOLO, L., SANSONETTI, A., GULOTTA, D., RANALLI, G., ZANARDINI, E., SORLINI, C. (2007). "Advantages of using microbial technology over traditional chemical technology in removal of black crusts from stone surfaces of historical monuments". *Applied and Environmental Microbiology*, 73(17): 5671-5675. <https://doi.org/10.1128/AEM.00394-07>.
- CAPPITELLI, F., VILLA, F., SANMARTÍN, P. (2021). "Interactions of microorganisms and synthetic polymers in cultural heritage conservation". *International Biodeterioration & Biodegradation*, 163: 105282. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2021.105282>.

- CATTÒ, C., SANMARTÍN, P., GULOTTA, D., TROIANO, F., CAPPITELLI, F. (2021). "Bioremoval of graffiti using novel commercial strains of bacteria". *Science of the Total Environment*, 756: 144075. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144075>
- CHAPMAN, S., MASON, D. (2003). "Literature review: the use of Paraloid B-72 as a surface consolidant for stained glass." *Journal of the American Institute for Conservation*, 42(2): 381-392.
- FORT, R. (2007). "Polímeros sintéticos para la conservación de materiales pétreos". In *Ciencia, Tecnología y Sociedad para una conservación sostenible del patrimonio pétreo*, 71-83. Spain: Ayuntamiento de San Sebastián de los Reyes. oai:digital.csic.es:10261/8340
- FURUKAWA, M., KAWAKAMI, N., ODA, K.K., MIYAMOTO, K. (2018). "Acceleration of enzymatic degradation of poly(ethylene terephthalate) by surface coating with anionic surfactants". *ChemSusChem*, 11(23): 4018-4025. <https://doi.org/10.1002/cssc.201802096>.
- GHARIBZADEH, F., REZAEI KALANTARY, R., NASSERI, S., ESRAFILI, A., AZARI, A. (2016). "Reuse of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) contaminated soil washing effluent by bioaugmentation/biostimulation process". *Separation and Purification Technology*, 168: 248-256. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.05.022>.
- GIOVENTÙ, E., LORENZI, P.F., VILLA, F., SORLINI, C., RIZZI, M., CAGNINI, A., GRIFFO, A., CAPPITELLI, F. (2011). "Comparing the bioremoval of black crusts on colored artistic lithotypes of the Cathedral of Florence with chemical and laser treatment". *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65(6): 832-839. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.06.002>.
- LAZZARI, M., CHIANTORE, O. (2000) "Thermal-ageing of paraloid acrylic protective polymers". *Polymer*, 41(17): 6447-6455.
- MOLINA, M.T., CANO, E., RAMÍREZ-BARAT, B. (2023). "Protective coatings for metallic heritage conservation: A review." *Journal of Cultural Heritage*, 62: 99-113. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.05.019>.
- MONCRIEFF, A., HEMPEL, K. (1970). "Biological Pack". Work on deterioration of sculptures stone. In *Conservation of stone and wooden objects*, New York Conference, 2nd Ed. ICC, Ed., London, vol 1, 103-114.
- NANTHINI DEVI, K., RAJU, P., SANTHANAM, P., DINESH KUMAR, S., KRISHNAVENI, N., ROOPAVATHY, J., PERUMAL, P. (2021). "Biodegradation of low-density polyethylene and polypropylene by microbes isolated from Vaigai River, Madurai, India." *Archives of Microbiology*, 203: 6253-6265. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02592-0>.
- ORTEGA-CALVO, J.J., STIBANY, F., SEMPLE, K.T., SCHAEFFER, A., PARSONS, J.R., SMITH, K.E. (2020). "Why biodegradable chemicals persist in the environment? A look at bioavailability". In *Bioavailability of organic chemicals in soil and sediment*, 243-265. https://doi.org/10.1007/978_2020_586.
- PETRĖNAS, T., OPUCHOVIČ, O., SENVAITIEŅĒ, J., BEGANSKIENĒ, A., KAREIVA, A. (2015) "A novel polymeric conservation method of historical outdoor ceramics". *Materials Science/Medziagotyra*, 21(2): 293-297. <https://doi.org/10.5755/j01.mm.21.2.6823>
- RANALLI, G., ZANARDINI, E. (2021). "Biocleaning on cultural heritage: new frontiers of microbial biotechnologies". *Journal of Applied Microbiology*, 131(2): 583-603. <https://doi.org/10.1111/jam.14993>.
- REICHART, O., SZAKMÁR, K., JOZWIAK, Á, FELFÖLDI, J., BARANYAI, L. (2007). "Redox potential measurement as a rapid method for microbiological testing and its validation for coliform determination". *International Journal of Food Microbiology*, 114(2): 143-148. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.08.016>.
- SANMARTÍN, P., CAPPITELLI, F., MITCHELL, R. (2014). "Current methods of graffiti removal: a review". *Construction & Building Materials* 71: 363-374. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.093>.
- SANMARTÍN, P., DE ARAUJO, A., VASANTHAKUMAR, A., MITCHELL, R., (2015). "Feasibility study involving the search for natural strains of microorganisms capable of degrading graffiti from heritage materials". *International Biodeterioration and Biodegradation*, 103: 186-190. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.05.010>.
- SANTABÁRBARA MORERA, C. (2018). "Difusión y repercusión de la teoría de la restauración de Cesare Brandi". *Cuadernos de Arte de la Universidad de Granada*, 49: 285-303. <https://doi.org/10.30827/caug.v49i0.7777>.
- SEMPLE, K.T., DOICK, K.J., JONES, K.C., BURAUDEL, P., CRAVEN, A., HARMS, H. (2004). "Peer reviewed: defining bioavailability and bioaccessibility of contaminated soil and sediment is complicated" *Environmental Science & Technology*, 38(12): 228A-231A. <https://doi.org/10.1021/es040548w>.
- SPROCATI, A.R., ALISI, C., MIGLIORE, G., MARCONI, P., TASSO, F. (2021). "Sustainable restoration through biotechnological processes: A proof of concept". In *Microorganisms in the Deterioration and Preservation of Cultural Heritage*, 235-261. Switzerland: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69411-1_11.
- TROIANO, F., GULOTTA, D., BALLOI, A., POLO, A., TONIOLO, L., LOMBARDI, E., DAFFONCHIO, D., SORLINI, C., CAPPITELLI, F. (2013). "Successful combination of chemical and biological treatments for the cleaning of stone artworks". *International Biodeterioration and Biodegradation*, 85: 294-304. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.08.011>.
- TROIANO, F., VICINI, S., GIOVENTÙ, E., LORENZI, P.F., IMPROTA, C.M., CAPPITELLI, F. (2014). "A methodology to select bacteria able to remove synthetic polymers". *Polymer Degradation and Stability*, 107: 321-327. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.12.029>.
- VINÇOTTE, A., BEAUVOIT, E., BOYARD, N., GUILMINOT, E. (2019). "Effect of solvent on Paraloid® B72 and B44 acrylic resins used as adhesives in conservation." *Heritage Science*, 7(1): 1-9. <https://doi.org/10.1186/s40494-019-0283-9>.

WEYER, A., ROIG PICAZO, P., POP, D., CASSAR, J., ÖZKÖSE, A., VALLET, J.M., SRSA, I. (2015). *EwaGlos-European illustrated glossary of conservation terms for wall paintings and architectural surfaces*. (17). Germany: Michael Imhof Verlag.

WICHATHAM, K., PIYAVIRIYAKUL, P., BOONTANON, N., SURINKUL, N., VISVANATHAN, C., FUJII, S., BOONTANON, S.K. (2024). "Biodegradation of polypropylene plastics in vitro and natural condition by *Streptomyces* sp. isolated from plastic-contaminated sites". *Environmental Technology & Innovation*, 35: 103681. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103681>.

Autor/es



Fabiana Martín-Caramés

fabiana.martin.carames@usc.es

CRETUS. Dpto. Edafología e Química Agrícola, Universidad de Santiago de Compostela, España.

<https://orcid.org/0009-0009-0233-6820>

Graduada en Biología (2021) y máster en Biodiversidad Terrestre: caracterización, conservación y gestión (2023) en la Universidad de Santiago de Compostela (USC). Actualmente es investigadora predoctoral (2º año) en el programa de doctorado de Medioambiente y Recursos Naturales de la USC. Su trabajo de tesis se centra en el proyecto BIOXEN: BIOLimpieza de restos de materiales XENobióticos en rocas graníticas del patrimonio construido (PID 2021-123329NA-I00, 2022-2026). Durante 2025 ha realizado una estancia en la Università degli Studi di Milano (Italia) supervisada por Cristina Cattò y Francesca Cappitelli en el marco de su tesis doctoral.



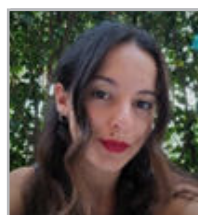
Anxo Méndez

anxo.mendez.villar@usc.es

CRETUS. Dpto. Edafología e Química Agrícola, Universidad de Santiago de Compostela, España.

<https://orcid.org/0000-0003-2257-6732>

Graduado en Biología (2017, UVigo) y máster en Ingeniería Ambiental (2019, USC), cursando su último año en el programa de doctorado de Medioambiente y Recursos Naturales de la USC, habiendo ganado la ayuda de doctorado industrial de la Axencia Galega de Innovación de la Xunta de Galicia (04_IN606D_2021_2598528). Su investigación se centra en la aplicación de tecnologías ambientales (particularmente la iluminación ornamental) para la conservación preventiva del patrimonio arquitectónico, realizando su tesis doctoral en el marco del proyecto de Compra Pública Innovadora Smartiagio-CromaLux (<http://cromalux.santiagodecompostela.gal/en>). Su actividad investigadora se ha realizado principalmente en la USC, pero ha realizado estancias, de las que han derivado varias publicaciones científicas y presentaciones en congresos, en la Slovak Academy of Science, Eslovaquia (2022) supervisada por Domenico Pangallo y el Getty Conservation Institute, Los Ángeles-EEUU (2023) supervisada por Davide Gulotta.

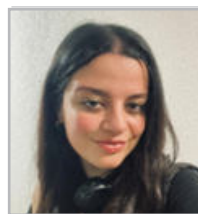


Clara Fernández-Garrido

clara.fernandez.garrido@rai.usc.es

CRETUS. Dpto. Edafología e Química Agrícola, U. de Santiago de Compostela, 15782 - Santiago de Compostela, España.

Graduada en Biología por la Universidad de Santiago de Compostela (USC) (2021-2025), con orientación hacia la microbiología y biotecnología. Durante su último año de grado, ha enfocado su carrera hacia la investigación y estudio de las interacciones entre microorganismos y materiales pétreos para la conservación del patrimonio, apoyada por una beca de colaboración en investigación (24CO1/005135) del MEFPD tutorizada por Patricia Sanmartín.

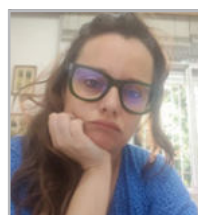


Icíá Pérez

icia.perez@rai.usc.es

CRETUS. Dpto. Edafología e Química Agrícola, Universidad de Santiago de Compostela, España.

Graduada en Biología (2025, USC). Ha orientado su trabajo de investigación en el último curso académico del grado a la aplicación de la biología para la conservación del patrimonio cultural, en concreto, a las interacciones entre los microorganismos y los materiales pétreos.



Patricia Sanmartín

patricia.sanmartin@usc.es

CRETUS. Dpto. Edafología e Química Agrícola, Universidad de Santiago de Compostela, España.

<https://orcid.org/0000-0002-5733-8833>

Investigadora Principal del proyecto BIOXEN: BIOLimpieza de restos de materiales XENobióticos en rocas graníticas del patrimonio construido (PID 2021-123329NA-I00, 2022-2026). Investigadora Ramón y Cajal (RYC2020-029987-I) en la Universidad de Santiago de Compostela (USC). Licenciada en Química (2004) y doctora por el departamento de Edafología y Química Agrícola (2012), USC. Su actividad investigadora se ha desarrollado principalmente en la USC y también en las universidades de Alicante (2008 y 2009), Milán (2010, 2012 y 2015), Harvard (2013-2014) y Oxford (2019), donde ha trabajado en la microbiología del patrimonio cultural en piedra, los biofilms subaéreos (SABs), la biorreceptividad y el desarrollo de tecnologías ambientales innovadoras destinadas a gestionar, evaluar y mitigar los impactos naturales y humanos en el patrimonio en piedra.



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1442>



II JORNADAS DE INVESTIGADORES JÚNIOR EN PATRIMONIO

Ge-conservación
Conservação | Conservation

Jornadas JIP - 2, 3 y 4 de abril de 2025

¿Qué ocurre cuando sellamos una trasera en pintura sobre lienzo? Estudio de los contaminantes gaseosos a través del pH microambiental

Daniel Morales-Martín, Alicia Sánchez-Ortiz

Resumen: El sellado perimetral de las traseras en pinturas sobre lienzo puede favorecer la concentración de compuestos volátiles emitidos tanto por los materiales de protección como por la propia obra, comprometiendo la estabilidad química del microclima en el reverso. El presente estudio evalúa dicha problemática mediante el análisis del pH ambiental en una serie de maquetas elaboradas con distintos materiales y sistemas de sellado comúnmente empleados en conservación. La medición cuantitativa de este parámetro se llevó a cabo mediante los sensores ópticos de pH ambiental. Los resultados de la metodología aplicada revelaron variaciones asociadas con la naturaleza de los productos testados y el grado de estanqueidad del sistema de cierre, lo que permitió valorar su influencia en la acumulación de contaminantes. De este modo, la investigación aporta datos relevantes para optimizar la elección de materiales y estrategias de sellado en esta medida pasiva de conservación preventiva.

Palabras clave: sensores sol-gel, pH ambiental, emisiones volátiles, conservación preventiva, pintura sobre lienzo

What happens when a backboard is sealed in canvas paintings? A study of gaseous contaminants via microenvironmental pH

Abstract: The perimeter sealing of backing in canvas paintings can promote the accumulation of volatile compounds emitted both by the protective materials and the artwork itself, thereby compromising the chemical stability of the microenvironment. This study evaluates this issue through the analysis of microenvironmental pH in a series of mock-ups constructed with various materials and sealing systems commonly used in conservation. Quantitative measurements of this parameter were carried out using optical pH sensors. The results revealed variations associated with the nature of the tested materials and the degree of airtightness of the sealing system, allowing for an assessment of their influence on contaminant accumulation. In this way, the research provides relevant data to optimize the selection of materials and sealing strategies in this passive preventive conservation measure.

Keywords: sol-gel sensors, environmental pH, volatile emissions, preventive conservation, canvas painting

Introducción

En el ámbito de la conservación-restauración de pintura sobre lienzo, la instalación de traseras se ha consolidado como una estrategia pasiva de conservación preventiva, orientada a minimizar el impacto de agentes de degradación extrínsecos. Estos sistemas de protección indirecta del reverso pueden clasificarse en función de su grado de ventilación: traseras selladas y traseras ventiladas. Las primeras se caracterizan por un cierre perimetral con cintas adhesivas o burletes, con el fin de estabilizar el microclima, reducir la pérdida de aire y amortiguar las vibraciones del soporte durante la manipulación o el

transporte (Green 1991; Daly Hartin 2016; Roonthiva y Bagan 2017). Las segundas, por el contrario, permiten una mayor circulación de aire a través de su estructura o mediante aberturas, con el propósito principal de prevenir la condensación de humedad en el interior del reverso y evitar el desarrollo de microorganismos (Michalski 2005).

El debate sobre las ventajas e inconvenientes de ambos sistemas se remonta a principios del siglo XX y continúa vigente en la actualidad (Achternkamp 1991; Roche 2016). A partir de la década de 1980, las traseras ventiladas comenzaron a caer en desuso, hasta ser consideradas un método *antiguo* en los años noventa (Lebret 1994; Buckley

2008). Aun así, se han seguido utilizando en contextos específicos, como el enmarcado de obras ubicadas en climas tropicales o cuando se emplean planchas sintéticas en espacios donde la humedad relativa (HR) supera el 80 % durante más de 30 días (Dixon 2012; Daly Hartin 2016). No obstante, se ha demostrado que perforar las traseras no evita el fenómeno de condensación, y que puede llegar a tener el efecto contrario si el aire exterior es húmedo y presenta un punto de rocío (Tdp) cercano a la temperatura (T) de la cara interna del material de protección (Padfield *et al.* 2020). Asimismo, también se ha recomendado realizar orificios de ventilación para evitar la acumulación de compuestos orgánicos volátiles (COVs) derivados de las traseras (Bouchayer 1991; Ballard 2012). Sin embargo, un estudio reciente, basado en la aplicación de los sensores ópticos de pH ambiental desarrollados por el grupo de investigación CERVITRUM del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), ha determinado que esta práctica no siempre mitiga dicho riesgo (Morales-Martín, Pastor Valls y Sánchez Ortiz 2024).

Además, se debe tener en cuenta que uno de los principales problemas asociados a las traseras selladas es la acumulación de COVs emitidos tanto por los materiales constitutivos de la obra como por los componentes de la propia trasera (Hackney 1990; Roche 2003). En función de las características técnico-materiales de la obra, dicho factor puede generar un microclima cuya composición química resulte desfavorable para su conservación (Morales-Martín y Sánchez Ortiz 2024). Además, según otros autores, este riesgo puede intensificarse en espacios confinados de pequeño volumen, donde se ha observado que la concentración de contaminantes puede superar la estimación esperada (Hackney 2020). No obstante, Padfield *et al.* (2020) demostraron que el sellado perimetral de la trasera no genera una cámara completamente estanca, sino que permite cierto grado de intercambio con el aire exterior, lo que, en teoría, favorecería la dilución de los COVs acumulados en el reverso de la obra.

A pesar del interés que ha suscitado esta problemática, hasta la fecha no ha sido objeto de un análisis exhaustivo. Los estudios previos se han centrado mayoritariamente en evaluar la acidez ambiental generada por un número muy limitado de materiales de protección (Hackney 2016). Sin embargo, los productos empleados en la confección de las traseras y en los sistemas de sellado son muy variados en cuanto a su distinta naturaleza y calidad (Morales-Martín 2023). Por tanto, cada uno de ellos puede influir de manera distinta en el pH del aire confinado, tal y como se demostró en el estudio mencionado anteriormente sobre traseras ventiladas (Morales-Martín, Pastor Valls y Sánchez Ortiz 2024).

En este contexto, el objetivo principal de la presente investigación es evaluar el impacto del sellado perimetral de distintos materiales de trasera sobre la acumulación de COVs en el reverso de pinturas sobre lienzo, mediante la medición del pH microambiental generado.

Los objetivos específicos son:

1. Evaluar la eficacia del sellado de los distintos tipos de trasera.
2. Analizar el comportamiento microclimático de diferentes materiales de sellado y su incidencia en la estabilidad química del espacio confinado entre la obra y la trasera.
3. Validar la metodología de medición mediante sensores ópticos de pH como herramienta cuantitativa para determinar el efecto de los materiales de protección sobre el microclima generado en el reverso de las pinturas.

Materiales y métodos

—*Estudios experimentales con materiales artísticos de referencia*

Para alcanzar los objetivos planteados en la presente investigación, se partió de la elaboración de las maquetas, concebidas como modelos experimentales para simular el comportamiento microambiental en el reverso de una pintura sobre lienzo protegida con diferentes materiales. Su proceso de construcción se articuló en dos etapas diferenciadas: la reproducción del supuesto pictórico, y la selección y colocación de distintos materiales de trasera.

El supuesto pictórico consistió en la recreación de una pintura no tradicional^[1] sobre lienzo, de reciente creación. La maqueta, con unas dimensiones exteriores de 44 × 34 × 2,5 cm, se compuso de un lienzo de algodón tensado sobre un bastidor de madera de pino. La superficie pictórica fue ejecutada con técnica mixta, combinando distintos acabados característicos de este tipo de obras: zonas de soporte visto impermeabilizado con cola animal, aplicación directa de pintura acrílica, preparación vinílica artesanal y pintura al óleo.

La selección de los materiales de trasera objeto de estudio se basó en dos criterios principales: en primer lugar, los productos que obtuvieron mayor número de menciones en una encuesta realizada en 2022, dirigida a profesionales del sector a nivel nacional e internacional; y en segundo lugar, los mejor valorados por su capacidad para amortiguar las oscilaciones de HR, según la clasificación elaborada por Debra Hartin para la wiki del American Institute for Conservation (Gridley 2023; Morales-Martín y Sánchez Ortiz 2024).

Conforme al primer criterio, se seleccionaron los siguientes materiales: cartón pluma libre de ácido, plancha alveolar de policarbonato (PC), cartón corrugado libre de ácido y cartón pluma común. En relación con el segundo criterio, se escogieron la plancha alveolar de polipropileno (PP) con

cartón en el interior, la plancha alveolar de PP, la plancha de polimetilmetacrilato (PMMA), el cartón laminado y el tablero de fibras duras de madera (MDF).

Adicionalmente, y en coherencia con los objetivos de esta investigación, se incorporaron los materiales que se muestran a continuación:

- Tableros de contrachapado crudo y fenólico, incluidos por su uso tradicional como traseras, a pesar de sus limitaciones asociadas a sus emisiones ácidas y a su peso (Achternkamp 1991).
- Chapa de aluminio, incorporada por su reciente propuesta como sistema de barrera frente a variaciones térmicas provenientes del muro de exposición (Padfield et al., 2020; Ferrer et al. 2022).
- Film de poliéster (PET), seleccionado por su ligereza y transparencia, especialmente útil para obras en exposición permanente que no requieren manipulación frecuente (Mills, Steehouder y Gardener 2010).

Para el sellado perimetral de las traseras se seleccionaron cuatro productos: dos cintas adhesivas, una de aluminio y otra de papel Kraft engomado, y dos tipos de burletes autoadhesivos, uno de espuma de policloruro de vinilo (PVC) y otro de espuma de etileno-propileno-dieno-

monómero (EPDM). Este último se incluyó a pesar de estar desaconsejado por el Canadian Conservation Institute (CCI) debido a la posible emisión de compuestos nocivos (Daly Hartin, 2016). No obstante, como señalaron Mills, Steehouder y Gardener, (2010), ciertos materiales no recomendados por su naturaleza o calidad, han continuado utilizándose en la práctica profesional, lo que justifica su inclusión en este estudio.

La instalación de las traseras^[2] y de los burletes se realizó siguiendo las directrices establecidas por el CCI (Daly Hartin 2016). En el caso de las cintas adhesivas, debido a la ausencia de pautas específicas en la bibliografía consultada, su aplicación se basó en criterios propios. Con el fin de optimizar su eficacia, se colocaron por debajo de los puntos de fijación, evitando así la formación de pliegues en las zonas correspondientes a los tornillos [Figura 1].

Junto a los modelos de trasera individual se realizaron otros de control. Por un lado, una maqueta sin protección y, por otro, una plancha de vidrio embutida en el bastidor para conocer el pH microambiental generado únicamente por los elementos del conjunto pictórico. Finalmente, en función de los distintos materiales de trasera y de sellado seleccionados [Figura 2], así como de los modelos de control, se elaboró un total de 67 maquetas experimentales, tal como se detalla en la Tabla 1.

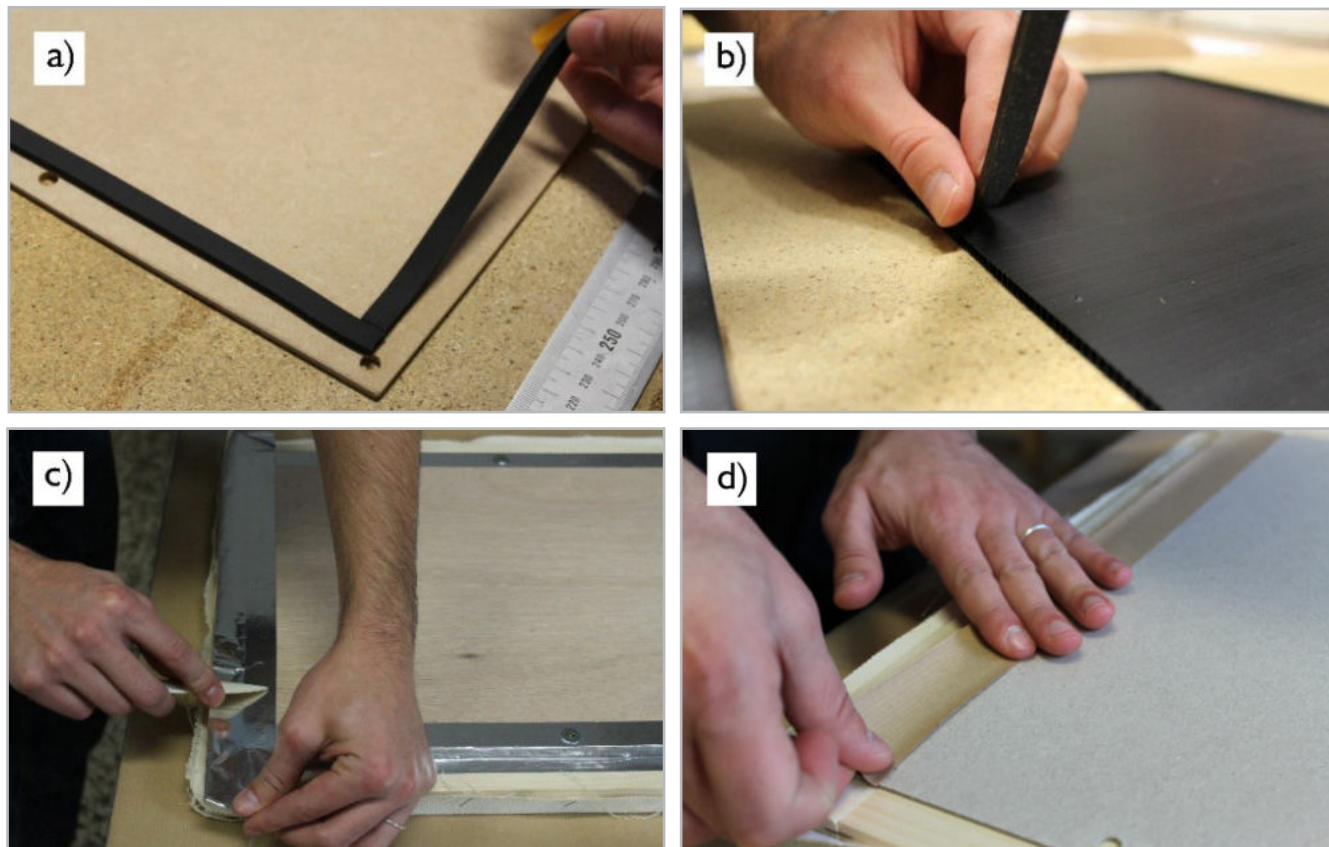


Figura 1.- Sellado perimetral de traseras con distintos materiales: a) burlete de PVC en tablero de fibras de madera; b) burlete de PVC en plancha alveolar de PP; c) cinta autoadhesiva de aluminio en contrachapado fenólico; d) cinta de papel Kraft en cartón laminado. Fuente: elaboración propia.

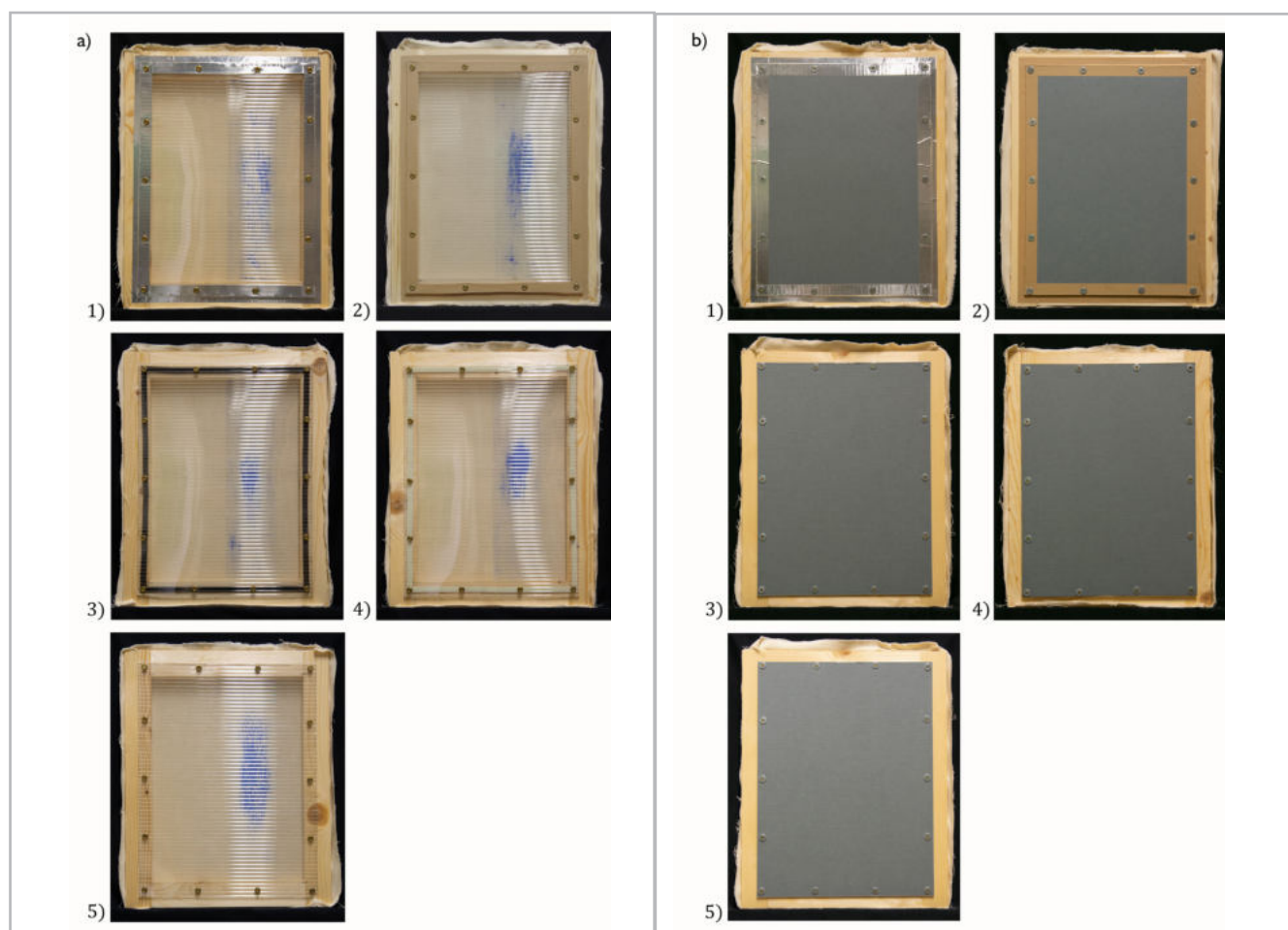


Figura 2.- Modelos con distintos sistemas de sellado perimetral: a) trasera de PC; b) trasera de cartón corrugado libre de ácido. En ambos casos: 1) cinta de aluminio, 2) cinta de papel engomado, 3) burlete de PVC, 4) burlete de EPDM, 5) sin sellado. Fuente: elaboración propia.

Modelos de traseras, con sellado y sin sellado perimetral						
Ref.	Material de barrera	Sellado				Sin sellado
		cintas adhesivas		burletes		
		Aluminio (Miarco®)	Papel Kraft (Central®)	PVC (Axton®)	EPDM (Axton®)	
m.01	Tablero de MDF (Kronospan®)	a	b	c	d	e
m.02	Tablero de contrachapado crudo (Salimer®)	a	b	c	d	e
m.03	Tablero de contrachapado fenólico (Salimer®)	a	b	c	d	e
m.04	Plancha de PMMA (Altuglas®)	a	b	c	d	e
m.05	Chapa de aluminio (Mesima® Bilbao)	a	b	c	d	e
m.06	Plancha alveolar de PP (Cipaflexi®)	a	b	c	d	e
m.07	Plancha alveolar de PP (Cipaflexi®) + cartón (Canson®)	a	b	c	d	e
m.08	Plancha alveolar de PC (Lexan® Thermoclear plus)	a	b	c	d	e
m.09	Cartón pluma libre de ácido (Moldiber® serie Museum)	a	b	c	d	e
m.10	Cartón pluma común (Canson® classic)	a	b	c	d	e
m.11	Cartón corrugado libre de ácido (Schempp®)	a	b	c	d	e
m.12	Cartón laminado (Eska® board)	a	b	c	d	e
m.13	Film de PET (Mylar/Melinex®)	a	b	c	d	e
Modelos de control						
c.01	Placa de vidrio embutida en el bastidor					
c.02	Sin trasera					

Tabla 1.- Relación de las diferentes maquetas realizadas para el estudio experimental. Fuente: elaboración propia.

Condiciones experimentales del ensayo

El ensayo experimental se diseñó con el objetivo de evaluar, de forma natural y a corto plazo, el pH microambiental generado en el reverso de las distintas maquetas realizadas. Por ello, y tomando como referencia los conocimientos previos sobre el grado de emisión de los materiales (Elkin y Norris 2019; García Fernández 2013; Gibson 2010; VV.AA. 2022), los modelos no fueron sometidos a procesos de envejecimiento acelerado en cámara climática. Esta decisión se fundamentó en la evidencia de que la mayor emisión de COVs se produce en materiales sin envejecer.

Antes de la colocación de las diferentes traseras, se estableció un periodo de acondicionamiento natural de los supuestos pictóricos de 30 días en una sala con una HR media comprendida entre el 30 % y el 40 %, y una T de entre 18 y 20 °C. Transcurrido este tiempo, y una vez colocadas las traseras, se mantuvieron otros 30 días en las mismas condiciones antes de iniciar las mediciones del pH ambiental. Esta medida se adoptó siguiendo la metodología descrita por Dupont y Tétreault (2000), quienes evaluaron las concentraciones de COVs ácidos en el interior de diversas cajas de conservación.

El entorno de exposición de los modelos durante la evaluación del pH microambiental fue concebido para simular un espacio museográfico sin climatización activa. Para ello, mediante un humidificador ultrasónico con control de humedad (Conopu® OZJ21S07), se recrearon oscilaciones irregulares de HR (30–75 %) y de T (20–30 °C) en una sala del aula-taller A012 de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid.

Por último, el periodo de evaluación de las maquetas se estableció en siete meses, con el propósito de abarcar el tiempo de vida útil recomendado para materiales de uso temporal (VV.AA. 2021).

Evaluación del pH microambiental con sensores ópticos de pH

Los sensores ópticos de pH empleados en este estudio fueron sintetizados en el Laboratorio de Conservación del Patrimonio del Instituto de Historia (CSIC), siguiendo el procedimiento descrito en la patente *Sistema para la determinación de acidez ambiental y método que hace uso del mismo* (Villegas et al. 2010). Su fabricación se basa en la tecnología sol-gel, mediante la cual se aplica una película porosa reactiva sobre portaobjetos de vidrio, utilizando tetraetilortosilicato (TEOS) como matriz inorgánica y rojo de clorofenol como indicador cromático. El recubrimiento de las láminas de vidrio se realizó por inmersión controlada, y se estabilizó térmicamente a 60 °C durante 72 horas en una estufa de aire forzado. Posteriormente, se eliminaron los defectos físicos mediante corte y pulido, obteniéndose sensores activos por ambas caras, con una superficie útil aproximada de 4 × 2,5 cm.

Para este estudio se fabricaron 34 sensores, calibrados específicamente en función del rango de pH previsto. El

proceso de calibración consistió en registrar el espectro visible (380–750 nm) de cada sensor y medir la absorbancia en el pico característico de 575,44 nm, utilizando soluciones tampón con valores de pH 6,0, 7,0 y 8,0. A partir de estas mediciones, se elaboraron curvas de calibración individualizadas mediante el promedio de tres lecturas por punto, ajustadas por regresión lineal. Este procedimiento permitió alcanzar una precisión de 0,1 unidades en la escala de pH.

Durante las mediciones, los sensores permanecieron en el interior de las maquetas durante un periodo continuo de cuatro días, conforme al protocolo de exposición previamente establecido para el análisis de este microclima (Morales-Martín y Sánchez Ortiz 2024). La lectura posterior a la exposición se realizó in situ utilizando la unidad de medida portátil desarrollada por los miembros del grupo CERVITRUM para este propósito (Llorente-Alonso et al. 2013). Con el fin de no alterar las condiciones internas de la cámara de aire, la instalación y retirada de los sensores se llevaron a cabo sin desmontar la trasera, simplemente levantando el borde superior del lienzo, fijado con puntas metálicas

Junto a cada sensor se colocó un termohigrómetro digital FY-12 LCD con sonda externa (Reland Sun®), que permitió registrar puntualmente la T y la HR en el interior de cada maqueta en el momento de realizar cada evaluación [Figura 3]. En total, se realizaron siete campañas de medición,^[3] separadas por intervalos de treinta días para permitir la estabilización del microclima en el reverso de los modelos.

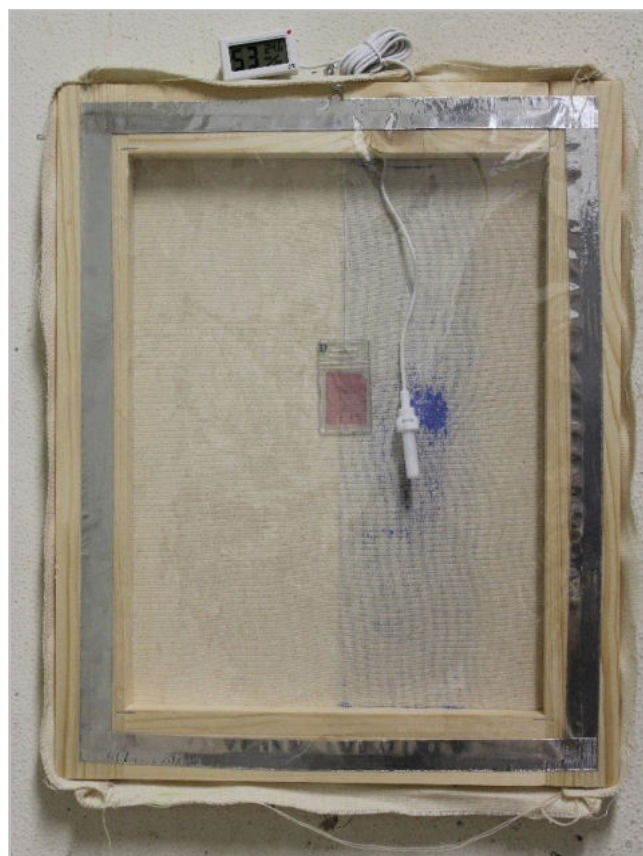


Figura 3.- Instalación del sensor de pH y de la sonda del termohigrómetro en el interior del modelo m.13a. Fuente: elaboración propia.

Evaluación del grado de sellado de las traseras de los modelos

Para determinar el nivel de estanqueidad de la cámara de aire generada por los distintos sistemas de sellado, se llevó a cabo una medición de la tasa de intercambio de aire^[4] (TIA) utilizando dióxido de carbono (CO_2) como gas traza. Esta metodología se basa en el principio de introducción de CO_2 en una cámara cerrada y en el registro de su concentración a lo largo del tiempo, lo que permite estimar la velocidad de pérdida de gas por ventilación natural. El procedimiento se llevó a cabo siguiendo la metodología establecida por Calver *et al.* (2005).

En esta fase del estudio, el análisis se centró exclusivamente en el tipo de sellado, sin considerar las propiedades de los materiales de trasera. De este modo, la evaluación se efectuó sobre un total de seis modelos: los cuatro métodos de sellado perimetral, la trasera sin sellar y la maqueta de control con vidrio.

El registro de la concentración del gas se realizó con un medidor portátil de CO_2 Dioxcare® modelo DX700 PDF, equipado con un sensor NDIR SenseAir S8 de alta precisión, homologado con marcado CE. Este equipo permite la monitorización continua de CO_2 , en un rango de 0 a 9999 ppm ($\pm 40 \text{ ppm} \pm 3 \%$), y con una resolución de 0,01 unidades [Figura 4a].

La instalación del equipo en el interior de las maquetas seleccionadas requirió modificar su estructura para adaptar el espacio a las dimensiones del medidor ($140 \times 134 \times 33 \text{ mm}$). Para ello, se duplicó el grosor de la cámara de aire mediante la incorporación de un segundo bastidor con las mismas dimensiones que el original. La unión entre ambas estructuras se hizo colocando grapas en los cantos, y las juntas se sellaron con cinta de aluminio para evitar fugas del gas traza [Figura 4b]. Una vez calibrado y alojado el detector, se reinstaló el lienzo en su posición original.

El CO_2 se introdujo por la parte superior del modelo, reproduciendo el sistema empleado para incorporar los sensores de pH. El gas se inyectó con un sifón de hostelería de 0,5 L (Ibili®), utilizando cargas de CO_2 de 8 g (Lacor®) [Figura 4a]. Una vez saturada la cámara, se inició el registro automático cada 5 minutos durante un total de 48 horas.

La TIA se calculó posteriormente mediante la aplicación de la fórmula de decaimiento logarítmico de la concentración de CO_2 en función del tiempo transcurrido. De acuerdo con las indicaciones descritas en el trabajo anteriormente citado, esta se analizó en cuatro momentos concretos: a las 6 y 12 horas, para obtener valores de referencia inicial, y a las 24 y 48 horas, con el fin de validar la coherencia de los resultados.

Resultados y discusión

—Evaluación del pH microambiental con sensores ópticos de pH

Con los resultados de pH microambiental obtenidos durante las distintas campañas de evaluación, se analizaron los siguientes parámetros: pH promedio (media aritmética de todos los valores registrados por cada sensor para cada maqueta); pH máximo (valor máximo registrado por cada sensor en el total de las evaluaciones realizadas en cada modelo); pH mínimo (valor mínimo registrado por cada sensor en el total de las evaluaciones realizadas en cada maqueta); y ΔpH (diferencia entre el pH máximo y mínimo registrados por cada sensor en cada modelo) [Tabla 2]. El análisis de estos valores permitió establecer una relación significativa entre la naturaleza del material de trasera, el tipo de sellado aplicado, y la estabilidad química del microclima generado en el reverso de las maquetas a lo largo de siete meses.

Los modelos m.04, m.05, m.06, m.08 y m.13, confeccionados con materiales considerados inertes, mostraron una notable estabilidad, con valores medios de pH comprendidos entre 6,9 y 7,1 y diferencias entre pH máximo y mínimo generalmente inferiores a 0,2 unidades. Estos resultados

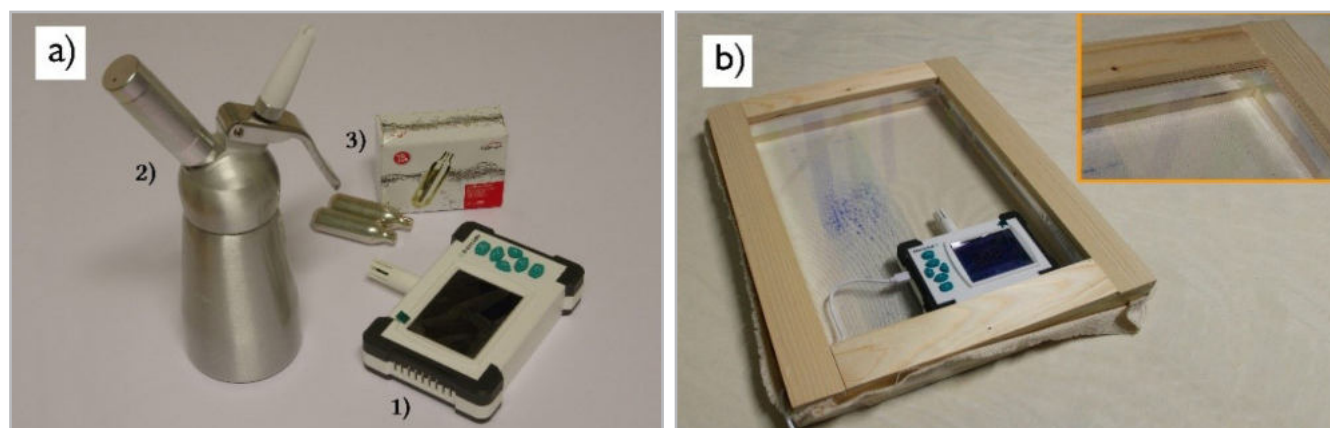


Figura 4.- a) Presentación del equipo y de los materiales empleados para el cálculo de la TIA mediante gas traza: 1) Medidor de CO_2 portátil, 2) Sifón y 3) Cargas de CO_2 ; b) Instalación del medidor de CO_2 en el interior del modelo c.01. En el recuadro de la esquina superior derecha se muestra un detalle del sellado de la junta de los dos bastidores. Fuente: elaboración propia.

	a				b			
	pH	pH máx.	pH mín.	Δ pH	pH	pH máx.	pH mín.	Δ pH
m.01	6,9	6,9	6,9	0,0	6,9	7,0	6,8	0,2
m.02	6,9	7,0	6,9	0,1	6,9	7,0	6,9	0,1
m.03	6,9	6,9	6,9	0,0	7,0	7,0	6,9	0,1
m.04	7,0	7,1	6,9	0,2	7,0	7,0	6,9	0,1
m.05	6,9	6,9	6,9	0,0	6,9	7,1	6,9	0,2
m.06	7,1	7,2	7,0	0,2	7,0	7,1	6,9	0,2
m.07	7,1	7,3	7,0	0,3	7,1	7,5	7,0	0,5
m.08	7,0	7,1	6,8	0,3	7,0	7,1	6,9	0,2
m.09	7,1	7,3	7,0	0,3	7,1	7,3	7,0	0,3
m.10	7,0	7,3	6,9	0,4	7,0	7,2	6,9	0,3
m.11	7,1	7,3	7,0	0,3	7,1	7,4	7,0	0,4
m.12	7,1	7,4	7,0	0,4	7,1	7,4	7,0	0,4
m.13	7,0	7,1	6,9	0,2	7,0	7,0	6,9	0,1
	c				d			
	pH	pH máx.	pH mín.	Δ pH	pH	pH máx.	pH mín.	Δ pH
m.01	6,8	6,9	6,8	0,1	6,9	6,9	6,8	0,1
m.02	6,9	6,9	6,8	0,1	6,9	6,9	6,9	0,0
m.03	6,9	7,0	6,9	0,1	7,0	7,0	6,9	0,1
m.04	7,0	7,0	6,8	0,2	7,1	7,2	7,0	0,2
m.05	6,9	7,0	6,8	0,2	7,0	7,1	6,9	0,2
m.06	7,1	7,3	7,0	0,3	7,0	7,1	7,0	0,1
m.07	7,2	7,2	7,1	0,1	7,1	7,2	7,0	0,2
m.08	7,0	7,1	7,0	0,1	7,0	7,1	6,9	0,2
m.09	7,2	7,5	7,0	0,5	7,1	7,4	7,0	0,4
m.10	7,0	7,1	6,9	0,2	7,0	7,1	7,0	0,1
m.11	7,1	7,2	7,0	0,2	7,1	7,2	6,9	0,3
m.12	7,1	7,2	7,0	0,2	7,0	7,1	7,0	0,1
m.13	7,0	7,0	7,0	0,0	7,0	7,1	7,0	0,1
	e							
	pH	pH máx.	pH mín.	Δ pH				
m.01	6,8	7,0	6,8	0,2				
m.02	6,9	6,9	6,8	0,1				
m.03	7,0	7,0	6,9	0,1				
m.04	7,0	7,1	7,0	0,1				
m.05	7,0	7,1	6,9	0,2				
m.06	7,1	7,1	7,0	0,1				
m.07	7,1	7,2	7,0	0,2				
m.08	7,0	7,1	6,9	0,2				
m.09	7,0	7,0	6,9	0,1				
m.10	7,0	7,1	6,9	0,2				
m.11	7,1	7,2	7,0	0,2				
m.12	7,1	7,3	7,0	0,3				
m.13	7,0	7,0	6,9	0,1				
	control							
	pH	pH máx.	pH mín.	Δ pH				
c.01	7,0	7,1	7,0	0,1				
c.02	7,0	7,0	7,0	0,0				

Tabla 2.- Resultados de los valores del pH medio, máximo, mínimo y Δ pH registrados en cada modelo. Fuente: elaboración propia.

indican un comportamiento neutro y estable del microclima, sin indicios de acumulación significativa de COVs.

En los modelos m.07, m.09 y m.11, confeccionados con distintos tipos de cartones libres de ácido, también se registraron valores de pH promedio próximos a la neutralidad, comprendidos entre 7,2 y 7,0. En estos casos, el pH alcanzó un valor máximo de 7,5 (m.09c) y mínimos de 7,0, con una diferencia de hasta 0,5 unidades. Esta ligera tendencia alcalina puede atribuirse a la presencia de carbonato cálcico en los cartones, cuya proporción, según las fichas técnicas de los productos utilizados, se encuentra entre el 2 % y el 4 % (Pensold & Brandt 2017; Moldiber s.f; Productos de Conservación S.A., s.f.).

Por el contrario, los modelos contruidos con materiales derivados de la madera (m.01, m.02 y m.03) mostraron un comportamiento distinto. Aunque los valores medios de pH también se mantuvieron próximos a la neutralidad (entre 6,8 y 7,0), las fluctuaciones entre los valores máximos y mínimos indican un microclima ligeramente más ácido en comparación con el resto de las maquetas. Según las fichas técnicas, los productos utilizados están clasificados como tableros de bajas emisiones de formaldehído, con certificación E1 conforme al estándar europeo (Kronospan MDF S.L. 2021; Salimer, s.f.). Sin embargo, estas certificaciones no contemplan otros COVs de carácter ácido, como el ácido acético, que puede liberarse como producto de la hidrólisis de grupos acetilo presentes en la hemicelulosa de la madera (Schieweck y Salthammer 2011).

En relación con el tipo de sellado perimetral, los resultados obtenidos indican que, si bien las variaciones de pH no difieren sustancialmente entre los distintos materiales empleados, los modelos con traseras selladas tienden a mostrar mayores oscilaciones entre los valores máximo y mínimo. Este comportamiento sugiere una acumulación temporal más significativa de compuestos volátiles en el reverso, especialmente en los modelos sellados con cinta de aluminio (grupo a), donde se registraron diferencias de hasta 0,5 unidades de pH. Por el contrario, los modelos no sellados (grupo e) presentaron variaciones menores, con diferencias de pH generalmente entre 0,1 y 0,2 unidades, lo que apunta a una mayor estabilidad del microclima en ausencia del cierre perimetral.

En cuanto a los burletes de espuma de PVC y EPDM (grupo c y d respectivamente), a pesar de haber sido identificados en la literatura como materiales potencialmente emisores de COVs, durante el periodo de evaluación no se observaron cambios significativos en el pH ambiental. Este comportamiento puede explicarse por su clasificación comercial como A+ en el sistema francés *Étiquetage des produits de construction et de décoration sur leurs émissions en polluants volatils*, que identifica los materiales con emisiones muy bajas de COVs (Axton, s.f. b, s.f. a).

Por último, los modelos de control presentaron valores de pH ambiental neutros y estables, lo que sugiere que el supuesto pictórico, en las condiciones de exposición recreadas, no genera por sí mismo un microclima químicamente inestable.

Evaluación del grado de sellado de las traseras de los modelos

Los resultados obtenidos en el análisis de la TIA muestran la evolución del tiempo de vida media del CO₂ ($t_{1/2}$, en minutos) en cuatro momentos distintos tras su inyección en la cámara de aire de cada modelo [Tabla 3]. La variabilidad observada refleja la influencia directa del tipo de sellado perimetral en el comportamiento microambiental de cada uno.

En las mediciones iniciales (0 h), todos los modelos registraron valores bajos de $t_{1/2}$, comprendidos entre 226 y 332 minutos, lo que indica un elevado intercambio de aire con el exterior. Esta tendencia puede atribuirse a un aumento momentáneo de presión en la cámara de aire derivado de la alta concentración de CO₂ inyectado (alrededor de 10.000 ppm), lo cual habría favorecido una ventilación acelerada en las primeras horas tras la saturación (Calver *et al.* 2005).

A partir de las 12 horas, se observó un incremento progresivo de los valores de $t_{1/2}$ en todos los modelos, reflejando una estabilización del sistema. Las mediciones realizadas a las 24 y 48 horas confirmaron que, aunque el sellado perimetral limita el intercambio, la cámara de aire no es completamente estanca, como señalaron Padfield *et al.* (2020), y se produce una renovación gradual del aire confinado.

Entre las maquetas selladas, el modelo a presentó el valor de $t_{1/2}$ más alto, lo que indica una mayor capacidad de retención del gas y, por tanto, un sellado más eficaz. En contraste, el modelo c mostró la menor eficacia de cierre, posiblemente debido a defectos en el burlete, separación de las juntas en las esquinas o fugas en los puntos de sujeción. Los resultados del modelo con trasera sin sellar (e) determinaron una tendencia comparable a la de las maquetas selladas, lo que sugiere que, incluso en ausencia de un sistema de cierre perimetral, la trasera puede limitar significativamente la ventilación del reverso.

Tipo de trasera	Tiempo transcurrido desde la inyección del CO ₂			
	0 h	12 h	24 h	48 h
Sellado cinta de aluminio (a)	297	20790	8316	13860
Sellado cinta de papel engomado (b)	249	20790	13860	4158
Sellado burlete de espuma de PVC (c)	255	3199	5940	1980
Sellado burlete de espuma de EPDM (d)	226	2970	5198	2970
Sin sellado (e)	333	41580	13860	5198
Vidrio (c.01)	227	3199	41580	20790

Tabla 3.- Resultados del tiempo de vida media estimado ($t_{1/2}$, en minutos) en distintos intervalos tras la inyección de CO₂ en la cámara de aire de los modelos seleccionados para este estudio. Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Los resultados de esta investigación confirman que (1) el sellado perimetral de las traseras, aunque no genera una cámara completamente estanca, sí favorece la acumulación de compuestos gaseosos en el reverso de las pinturas. Se ha observado que, a corto plazo y en condiciones ambientales inestables, la técnica pictórica no influye significativamente en el pH ambiental, mientras que el tipo de sellado y la naturaleza de los materiales de trasera sí lo hacen. En particular, los materiales derivados de la madera tienden a inducir una ligera acidez, frente a otros que muestran un comportamiento más neutro. Del mismo modo, (2) se ha podido determinar que, en las condiciones de este ensayo, algunos materiales como los burletes de espuma de PVC y de EPDM, no presentan, a priori, un efecto significativo sobre las características del microclima, por lo que no comprometen de forma evidente su estabilidad química. Por último, (3) la metodología basada en sensores ópticos de pH ha demostrado ser útil para evaluar el impacto de los materiales de protección sobre el microclima, revelando ligeras desviaciones hacia ambientes más ácidos o alcalinos según su composición. Estos hallazgos destacan la importancia de seleccionar cuidadosamente los materiales y sistemas de sellado en esta medida de conservación preventiva.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Ministerio de Universidades de España por la concesión del contrato predoctoral de Formación del Profesorado Universitario (FPU20/00384), gracias al cual ha sido posible llevar a cabo la presente investigación. Asimismo, se agradece al grupo de investigación CERVITRUM del CSIC por su colaboración, en particular por facilitar el acceso a los sensores ópticos de pH ambiental y al equipo técnico necesario para su aplicación.

Notas

[1] La pintura no tradicional se define como aquella realizada mediante medios no convencionales, es decir, distintos a las técnicas clásicas como el óleo, el temple o la encáustica, e incluye el uso de resinas sintéticas, productos de formulación industrial y otros materiales adheridos al soporte. Esta categoría abarca tanto el empleo de medios tradicionales aplicados de manera innovadora, como la utilización de materiales industriales en combinación con procedimientos derivados de las técnicas académicas convencionales (Elkin y Norris, 2019).

[2] La instalación del film de PET se realizó mediante dos métodos distintos. Para el sellado con burletes de espuma se aplicó el diseño descrito por Mills, Steehouder y Gardener (2010), utilizando un marco de madera sobre el que se grapó el film en su cara interior. En cambio, en los modelos sellados con las cintas adhesivas se siguió el método de Harwood (1996), grapando el film directamente al bastidor y colocando después las cintas.

[3] Para garantizar la estabilidad de la señal, los sensores fueron acondicionados antes y después de cada campaña de evaluación

mediante una inmersión de diez minutos en una solución tampón neutra (pH 7,0).

[4] Parámetro que se define como el tiempo necesario para que la totalidad del aire contenido en un volumen determinado sea reemplazado por aire del exterior.

Referencias

ACHTERNKAMP, P. (1991). "Die Rückseitenschutz von Gemälden: Historische und zeitgenössische Praxis", *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, 5 (1): 17–47.

AXTON (sin fecha a). *Burlete aislante adhesivo estándar de caucho EPDM para ventanas y puertas*. Ficha técnica.

AXTON (sin fecha b). *Burlete aislante de espuma PVC para ventanas y puertas*. Ficha técnica.

BALLARD, S. (2012). *Protection du revers d'une peinture sur toile. Association des amis de l'atelier du temps passé*. Disponible en: <http://3atp.org/Protection-du-revers-d-une> [consulta: 02/04/2023].

BOUCHAYER, G. (1991). *Recherche sur la protection des peintures sur toile au revers*. Tesis de maestría no publicada. Institut National du Patrimoine.

BUCKLEY, B.A. (2008). "Backing boards". En *Painting conservation catalog*. Volume 2: Stretchers and strainers, Buckley, B.A. (ed.). Washington, D.C.: The paintings speciality group of the American Institute for Conservation, 284–287.

CALVER, A., HOLBROOK, A., THICKETT, D. et al. (2005). "Simple methods to measure air exchange rates and detect leaks in display and storage enclosures". En *ICOM Committee for Conservation. Triennial meeting, 14th, The Hague, Netherlands, 2005*, Verger, I. (ed.). London: James and James/Earthscan, 597–609.

DALY HARTIN, D. (2016). *Dos protecteurs pour les peintures sur toile. Notes de l'Institut canadien de conservation (ICC)*. Disponible en: <https://www.canada.ca/fr/institut-conservation/services/publications-conservation-preservation/notes-institut-canadien-conservation/dos-protecteurs-peintures-toile.html> [consulta: 10/04/2023].

DIXON, T. (2012). "Framing, glazing, backing, and hanging of paintings on canvas". En *Conservation of easel painting*, Stoner, J. H. y Rushfield, R. (eds.). London: Routledge 727–732.

DUPONT, A.-L. y TÊTREAU, J. (2000). "Cellulose Degradation in an Acetic Acid Environment", *Studies in Conservation*, 45(3): 201–210. <https://doi.org/10.2307/1506766>

ELKIN, L. y NORRIS, C. A. (eds.) (2019). *Preventive conservation: collection storage*. New York: Society for the Preservation of Natural History Collections.

FERRER, S. CAMPO-FRANCÉS, G., GRAU-BOVÉ, J. et al. (2022). "RH simulation model for canvas paintings protected by an aluminium

backplate and an additional hygroscopic layer", *Heritage Science*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00741-2>

GARCÍA FERNÁNDEZ, I. (2013). *La conservación preventiva de bienes culturales*. Madrid: Alianza forma.

GIBSON, L.T. (2010). "Acetic and formic acids emitted from wood samples and their effect on selected materials in museum environments", *Corrosion Science*, 52(1): 172–178. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.08.054>

GREEN, T. (1991). "Vibration control: Paintings on canvas supports". En *Art in transit. Studies in the transport of paintings*, Mecklenburg, M. (ed.). Washington, D.C.: National Gallery of Art, 59–67.

GRIDLEY, M. (2023). *Backing boards*, American Institute for Conservation Wiki. Disponible en: https://www.conservation-wiki.com/wiki/Backing_Boards [consulta: 20/09/2024].

HACKNEY, S. (1990). "Framing for conservation at the Tate Gallery", *The Conservator*, 14: 44–53.

HACKNEY, S. (2016). "Colour measurement of acid-detector strips for the quantification of volatile organic acids in storage conditions", *Studies in Conservation*, 61: 55–69. <https://doi.org/10.1080/00393630.2016.1140935>

HACKNEY, S. (2020). *On canvas: preserving the structure of paintings*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.

HARWOOD, C. (1996). "The National Trust's backing Project", *The picture restorer*, 10: 19–21.

KRONOSPAN MDF S.L. (2021). *Tablero de fibras de alta densidad*. Ficha técnica.

LEBRET, C. (1994). "Le transport des peintures sur toile: protection et emballage de l'ouvre", *Conservation-Restauratio des Biens Culturels*, 6: 28–32.

LLORENTE-ALONSO, A., PEÑA POZA, J., DE ARCAS, G. et al. (2013). "Interface electronic system for measuring air acidity with optical sensors", *Sensor Actuat A-Phys*, 194: 67–74.

MICHALSKI, S. (2005). "Risk Analysis of Backing Boards for Paintings: Damp Climates vs Cold Climates". En *Minimo intervento conservativo nel restauro dei dipinti. CESMAR7 Secondo congresso internazionale Colore e Conservazione*, 29–30 ottobre 2004. Saonara: Il Prato, 21–27.

MILLS, L., STEEHOUDER, P. y GARDENER, P. (2010). "Protective and supportive backings for canvas paintings at Tate", *The picture restorer*, 37: 36–40.

MOLDIBER (sin fecha). *Ficha técnica cartón pluma museum*. Ficha técnica.

MORALES-MARTÍN, D. (2023). "Materiales para la protección indirecta del reverso en pintura sobre lienzo. características, usos y propiedades" [póster]. En *CIBA 3. Congreso de Investigación en Bellas Artes. Conectando redes de conocimiento*, Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

MORALES-MARTÍN, D., PASTOR VALLS, M.T. y SÁNCHEZ ORTIZ, A. (2024). "Traseras en pintura contemporánea: análisis del impacto por acumulación de gases contaminantes en el microclima resultante". En *25as Jornadas de Conservación de Arte Contemporáneo*, Ortega Gallego, M., Blanco, C. y Medina García, L. (eds.). Madrid: Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, 43-60.

MORALES-MARTÍN, D. y SÁNCHEZ ORTIZ, A. (2024a). "What do conservators think today about the protection of the back of painting on canvas?" [póster]. En *Expect the Unexpected: Embracing and Managing Change, Uncertainty, and Surprise*. Salt Lake City.

MORALES-MARTÍN, D. y SÁNCHEZ ORTIZ, A. (2024b). "A new perspective on the study of microenvironments created by the backings on canvas paintings: use of environmental pH sensors" [póster]. En *V International Congress Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage*. Santiago de Compostela.

MORALES-MARTÍN, D. y SÁNCHEZ ORTIZ, A. (2024c). "El cuidado de los reversos en pintura contemporánea: reflexiones sobre los métodos de protección indirectos", Saitabi. *Revista de la Facultat de Geografia i Història*, 74: 81-98.

PADFIELD, T., PADFIELD, N., LEE, D. S-H. et al. (2020). "Back protection of canvas paintings", *Heritage Science*, 8: 96. <https://doi.org/10.1186/s40494-020-00435-7>

PENSOLD, S. y BRANDT (2017). *Test report: Photographic Activity Test according to ISO 18915:2007*. PTS fibre based solutions.

PRODUCTOS DE CONSERVACIÓN S.A. (sin fecha). *Cartones corrugados Schempp*. Disponible en: <https://www.productosdeconservacion.com/eshop/carton-conservacion/3243-carton-corrugado-16-mm-grosor-gris-blanco.html> [consulta: 29/04/2025].

ROCHE, A. (2003). *Comportement mécanique des peintures sur toile*. Dégradation et prévention. Paris: CNRS.

ROCHE, A. (2016). *La conservation des peintures modernes et contemporaines*. Paris: CNRS.

ROONTHIVA, V. y BAGAN, R. (2017). "La funció del conservador-restaurador en les exposicions temporals. El cas de la pintura sobre taula i la pintura sobre tela". En *Moviment d'obres d'art: préstecs, manipulació, conservació i exhibició*, Millet Bonaventura, I. y Córdova Ríos, D.A. (eds.). Barcelona: Associació de Museòlegs de Catalunya, 82-99.

SALIMER (sin fecha). *Características técnicas del tablero contrachapado salipin extra - radiata*. Ficha técnica.

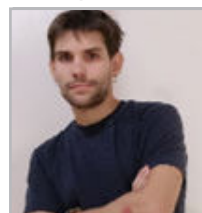
SCHIEWECK, A. y SALTHAMMER, T. (2011). "Indoor air quality in passive-type museum showcases", *Journal of Cultural Heritage*, 12(2): 205-213. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2010.09.005>

VILLEGAS, M.A. GARCÍA-HERAS, M., PEÑA-POZA, J. et al. (2010). *Sistema para la determinación de acidez ambiental y método que hace uso del mismo*. Patente P201003107.

VV.AA. (2021). *Oddy Tests: Materials Databases*. American Institute for Conservation Wiki. Disponible en: https://www.conservation-wiki.com/wiki/Materials_Testing_Results [consulta: 08/10/2024].

VV.AA. (2022). *Oddy Test Protocols*. American Institute for Conservation Wiki. Disponible en: https://www.conservation-wiki.com/wiki/Oddy_Test_Protocols [consulta: 13/11/2024].

Autor/es



Daniel Morales-Martín

damora03@ucm.es

Departamento de Pintura y Conservación-Restauración de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid
<https://orcid.org/0000-0003-1966-0511>

Conservador-Restaurador de Bienes Culturales por la Universidad de Granada (2013-2018) y Máster en Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico por la Universidad Pablo de Olavide (2018-2019). Actualmente es investigador predoctoral en el Departamento de Pintura y Conservación-Restauración de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid, en el marco de un contrato de Formación del Profesorado Universitario (FPU20/00384) financiado por el Ministerio de Universidades de España. Es miembro del grupo de trabajo "Conservación de Arte Contemporáneo y Nuevos Medios" del Grupo Español de Conservación del International Institute for Conservation (GE-IIC). Ha participado en congresos y jornadas científicas de ámbito nacional e internacional y es autor de diversos artículos de investigación relacionados con la conservación preventiva, los materiales contemporáneos y la evaluación del microclima en entornos museográficos.



Alicia Sánchez-Ortiz

alicisan@ucm.es

Departamento de Pintura y Conservación-Restauración de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid
<https://orcid.org/0000-0002-3358-1943>

Profesora Titular en el Departamento de Pintura y Conservación-Restauración de la Facultad de Bellas Artes (UCM) desde 1993. Doctora en 1997, sus líneas de investigación están relacionadas con las nuevas estrategias metodológicas para la conservación-restauración del patrimonio histórico-artístico pictórico y científico-técnico, en especial de modelos anatómicos históricos de carácter didáctico. Ha dirigido 3 proyectos competitivos de I+D+i y 2 Santander-UCM, y ha formado parte del equipo investigador en 6 proyectos nacionales. También ha dirigido o participado en más de 80 contratos de investigación art.60 LOSU. Es coautora de 2 patentes nacionales. Ha difundido el resultado

de sus investigaciones en 50 artículos publicados en revistas indexadas, en 2 monografías y en 25 cap. de libro en editoriales de prestigio. Ponente en más de 80 congresos, seminarios y cursos de especialización. Forma parte del panel de expertos en la ANECA, la AEI , AVAP y ACSUCyL. Es revisora de artículos en revistas indexadas de la especialidad y dirige desde 2020 el Grupo de Investigación UCM IMPACT: Imagen, Patrimonio, Arte, Conservación y Tecnología (Ref. 970923).



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1438>



II JORNADAS DE INVESTIGADORES JÚNIOR EN PATRIMONIO

Ge-conservación
Conservação | Conservation

Jornadas JIP - 2, 3 y 4 de abril de 2025

Compuestos orgánicos en plantas yucatecas como base para la identificación de aglutinantes de la pintura mural maya

Jorge Martínez Sales, Claudia A. García Solís, Gloria I. Hernández Bolio

Resumen: El estudio arqueométrico de los acabados arquitectónicos con color mayas cuenta con un largo recorrido. El interés por la caracterización de materiales orgánicos en capas pictóricas ha sido mayor en la identificación del colorante del índigo, empleado en el famoso azul maya, que en el estudio de los aglutinantes usados para aplicar el color. Sobre el tema, los estudios químicos de GC-MS y HPLC-MS realizados hasta el momento se han centrado en comparar los polisacáridos presentes en muestras arqueológicas y exudados de plantas regionales. Estos análisis permitieron confirmar la técnica al temple por el empleo de aglutinantes, pero queda mucho por conocer. Este estudio presenta la metodología utilizada mediante la GC-MS para la identificación de componentes orgánicos de baja y mediana polaridad de plantas reportadas en las fuentes etnográficas y recolectadas de manera directa en el entorno natural del sitio de Chichén Itzá (Yucatán, México). Al comparar los resultados del análisis de una muestra de pintura mural del sitio, ampliamos la información sobre otros compuestos de baja polaridad que no han sido identificados anteriormente.

Palabras clave: cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, compuestos de mediana y baja polaridad, exudados de plantas, plantas tropicales, Chichén Itzá

Organic compounds in Yucatecan plants as a basis for identifying binders in Maya mural painting

Abstract: The archaeometric study of Maya architectural finishes have a long history. Interest in characterising organic materials in paint layers has been greater in identifying the indigo dye used in the famous Maya blue than in studying the binders used to apply the colour. To date, chemical GC-MS and HPLC-MS studies have focused on comparing the polysaccharides present in archaeological samples and exudates of regional plants. These analyses confirmed the tempera technique using binders, but much remains unknown. This study presents the methodology used with GC-MS to identify medium- and low-polarity components of plants reported in ethnographic sources and collected directly from the natural environment of the Chichén Itzá site. By comparing the analytical results of a sample of mural painting from the site, we expand the information on other low-polarity compounds that have not been previously identified.

Keywords: Gas Chromatography-Mass Spectroscopy, medium- and low-polarity compounds, plant exudates, tropical plants, Chichén Itzá

Introducción

A lo largo del tiempo, las ciudades mayas han perdido gran parte de sus características originales, en especial sus acabados arquitectónicos (detalles escultóricos, estucos modelados y pinturas murales) realizados con cal y que permitían suavizar las formas arquitectónicas, generar representaciones en volumen y servían como base para la aplicación del color. La interacción de las formas, líneas, volúmenes y colores dio lugar a un complejo y rico lenguaje visual, lo cual subraya la importancia de estudiar los posibles materiales empleados por los antiguos artistas para aplicar los colores.

La maestría plástica y estética, así como, la riqueza cromática de los revestimientos arquitectónicos mayas asombró a los investigadores de todas las disciplinas e incitaron a un fuerte debate en torno a la técnica pictórica: fresco (Tentori 1961; Villagra 1949; Hanau, Maschelein, Thissen y Tricot 1966), seco (Ruppert, Thompson y Proskouriakoff 1955), o una técnica mixta o mezzo fresco (Breton 1905 y Morley 1925). Las fuentes históricas de la época del contacto y la colonización del territorio mencionaron el uso de gomas y plantas para los morteros de estuco y las capas pictóricas, siendo fundamentales el documento anónimo denominado *Sobre el modo de cómo hacían sus pinturas los indígenas*

citado en Vázquez de Ágredos (2010:35), y la obra *Relación de las cosas de Yucatán de Landa* (1973: 129-130). Sin embargo, estos documentos no definieron plantas o especies específicas.

A nivel etnohistórico, la contribución más importante proviene de la década de 1920 cuando la Carnegie Institution of Washington trabajó en el sitio arqueológico de Chichén Itzá. Los albañiles aportaron información importante referente a los antiguos maestros, refiriéndose a sus antepasados, indicando que utilizaban distintas cortezas para las mezclas de cal dependiendo de dónde iban a ser empleadas (Morris, Charlot y Morris 1931: 224). De nuevo, la información proporcionada por estos albañiles no era específica ya que no mencionaba el uso concreto que se le asignaba a cada planta.

A mediados del siglo XX el desarrollo de las técnicas analíticas provocó el interés en el estudio de las propiedades físicas para comprobar si las mejoras de las cualidades de los morteros mediante aditivos eran auténticas. En este sentido Littman (1958) desarrolló el primer trabajo de arqueología experimental realizando distintas mezclas con extractos naturales procedentes de las cortezas del chukum, chakaj, pucté y ha'bin. A finales del siglo XX, una vez comprobada la importancia que tuvieron estos aditivos, el interés se centró en la identificación de los aditivos orgánicos, como los en los estudios llevados a cabo en la zona arqueológica de Palenque (Chiapas, México) por Vázquez del Mercado y Villegas (1993). Al mismo tiempo, con los avances tecnológicos y el desarrollo de las técnicas analíticas aplicadas al patrimonio empezaron a llegar algunos resultados importantes que identificaban la presencia de materia orgánica en estucos y capas de color en Nakbe (Petén, Guatemala) (Hansen, Hansen y Derik 1995). Poco después, se produjo un intenso esfuerzo por parte de varias investigadoras para comprender el universo de color y su aplicación, especialmente en la pintura mural y relieves policromos, como fueron Magaloni (1996, 1998; 2001; 1995a y b), Vázquez de Ágredos (2006 y 2010) y García *et al.* 2008 y García *et al.* 2016. Entre estas publicaciones, las dos primeras autoras identificaron exitosamente los componentes inorgánicos empleados como pigmentos, así como otros elementos inorgánicos que acompañaban a los pigmentos, como las arcillas.

Las metodologías seguidas en el estudio de los orgánicos han permitido, por un lado, caracterizar el índigo empleado para el azul maya (Gettens 1962; Van Olphen 1966; Magaloni 2001, Vázquez de Ágredos 2007; Dómenech *et al.* 2009), y por otro, señalar el empleo de componentes de origen vegetal en las capas pictóricas y los morteros (Magaloni 1996, 1998; 2001; *et al.* 1995 a y b; y Vázquez de Ágredos 2006 y 2010). La metodología empleada la propuso Magaloni (1996), y se basó en la identificación de los polisacáridos y monosacáridos mediante Cromatografía de Gases acoplada a Espectroscopía de Masas (GC-MS) y la Cromatografía

Líquida de Alta Resolución acoplada a Espectroscopía de Masas (HPLC) comparando las muestras de pintura mural con los exudados (resinas y gomas) de diversos árboles, lo cual fue retomado posteriormente por Vázquez de Ágredos (2006 y 2010). Unos años después, Guasch-Ferré (2016 y *et al.* 2019) realizó un estudio de los compuestos orgánicos más exhaustivos. Más recientemente con la metodología que se expone a actualmente se ha podido identificar compuestos grasos de origen animal en restos de color en el sitio arqueológico de Acanceh (Martínez *et al.* 2025).

Todas estas investigadoras introdujeron la arqueología experimental con plantas regionales del territorio maya [Tabla 1], y de otras partes de México para compararla con muestras arqueológicas. Sus metodologías de análisis se basaron en dos técnicas de gran sensibilidad como son la GC-MS y HPLC-MS, y la identificación de los monosacáridos obtenidos mediante la fragmentación de polisacáridos o hidrólisis. Frente al avance que supuso la identificación de estos componentes en muestras arqueológicas para conocer el empleo de aglutinantes y, por tanto, la técnica pictórica al temple, en relación a su comparativa con muestras de plantas no se ha podido esclarecer una especie o familia taxonómica específica. A esto se añadía que los análisis parecen indicar el empleo de más de un aglutinante lo que dificulta aún más su caracterización e identificación en muestras arqueológicas.

La información proporcionada por las técnicas y el estudio del color se ha utilizado con fines de conservación en el área maya, lo cual se ha integrado en las prácticas del uso de la cal y sus derivados. Esto ha motivado el impulso de estudios de mezclas de cal con aditivos de origen orgánico en el área maya, tal como hicieron García y Valencia (1997), Ruiz (2010) y García y Jaidar (2013), y cuyos análisis se centraron en experimentar con aditivos de diferentes especies de la región para establecer cuáles ofrecían las mejores características y cualidades para tratamientos de consolidación, resane y recubrimientos de sacrificio.

Como se ha dicho, los avances en la técnica pictórica son amplios, pero sigue habiendo diversos retos como es la identificación de una o varias especies vegetales. De esta forma, la principal problemática para identificar los aglutinantes es la diversa naturaleza del origen de los aditivos, así como, poder conseguir una comparativa que permita profundizar en los materiales aglutinantes. El presente trabajo pretende realizar un estudio multidisciplinar de algunas plantas del norte de la Península de Yucatán que pudieron ser empleadas como aditivos o aglutinantes en las pinturas murales mayas y desarrollar una nueva metodología analítica para la identificación de nuevos componentes orgánicos de distinta polaridad mediante Cromatografía de Gases Masas acoplada Espectroscopía de Masas en muestras de exudados en plantas de Yucatán.

NOMBRE MAYA	NOMBRE ESPAÑOL	NOMBRE CIENTÍFICO	Especies usadas como sinónimo	FAMILIA
Chacté	Palo colorado	<i>Caesalpinia platylba</i>	<i>Caesalpinia mollis</i> / <i>Coulteria mollis</i>	<i>Fabaceae (leguminosas)</i>
	Palo de Rosa	<i>Tara vesicaria</i>	-	
Chakaj / Chakáh	Palo mulato	<i>Bursera simaruba</i>	-	<i>Burseraceae</i>
Kuyché	Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.	<i>Cedrela mexicana</i> M. Roem., <i>Cedrela yucatanica</i> S.F. Blake.	<i>Meliaceae</i>
Chi'Chi'Bej	Chichibe	<i>Sida acuta</i> Burm /	<i>Sida rhombifolia</i> / <i>Corchorus siliquosus</i> L. / <i>Corchorus hirtus</i> L. / <i>Sida spinosa</i>	<i>Malvaceae</i>
Chukum	Chukum	<i>Havardia albicans</i>	<i>Albizia rubiginosa</i> Standl / <i>Albizia lundellii</i> Standl	<i>Fabaceae</i>
Ék / Kikche	Palo de campeche	<i>Haematoxylum campechianum</i>	-	<i>Fabaceae</i>
Ha'bin	Jabín	<i>Piscidia Piscipula</i>	<i>Prescidia Communis</i> / <i>Ichthyomethia communis</i> S.F / <i>Piscidia erythrina</i> / <i>Erythrina piscipula</i>	<i>Fabaceae</i>
Holol	Jolol	<i>Beliota Campbelli</i>	<i>Beliota Mexicana</i> / <i>Hibiscus Tiliaceus</i> / <i>Trichospermum Mexicanum</i> / <i>Heliocarpus spp.</i>	<i>Malvaceae</i>
Oox	Ramón	<i>Brosimum alicastrum</i>	<i>Piratinera alicastrum</i>	<i>Moraceae</i>
Pixoy	Guácima	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Guazuma coriacea</i> Rusby / <i>Guazuma tomentosa</i> Kunth	<i>Malvaceae</i>
Xu'ul	Piñón	<i>Jatropha Gaumeri</i>	-	<i>Euphorbiaceae</i>
		<i>Jatroph Curcas</i> L.	-	

Tabla 1.- Especies de plantas identificadas como posibles aglutinantes en la bibliografía referenciada en el texto.

La identificación de los compuestos no polares y polares en los aditivos para la pintura maya

—Revisión documental

La revisión a través de bibliografía especializada (fuentes históricas, recopilaciones etnográficas y estudios físico-químicos) de las especies de árboles reportados que tienen la capacidad de proveer sustancias glutinosas a través de la maceración de sus cortezas fue el punto de partida para conocer las especies y sus cualidades, así como su distribución. Para ello, se recurrieron a distintas bases de datos oficiales disponibles en línea: EncicloVida, de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) de México; el listado de especies forestales oficiales en línea del Instituto Nacional de Bosques de Guatemala, y el Catálogo

de *Flora Ilustrada de la Península de Yucatán* del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY). El estudio incluyó el análisis de la diversidad biológica del territorio y el clima, ya que de ello depende el tipo de especies que podemos encontrar. Esto se complementó con una visita al herbario para conocer las plantas y dónde era más probable encontrar un mayor volumen de especies. Como resultado se decidió que buena parte de las especies identificadas se encontraban en la cercanía del sitio arqueológico de Chichén Itzá.

—Recolección de muestras en Chichén Itzá

La visita al sitio de Chichén Itzá para la recolección de cortezas y exudados se realizó el 10 de junio del 2022 por un grupo de trabajo de personas pertenecientes a la Universitat de València (España), Laboratorio Nacional de

Nano y Biomateriales (LANNBIO) y el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH-Yucatán). Cabe señalar que la declaratoria de protección de Chichén Itzá como Zona de Monumentos Arqueológicos expedida por el gobierno mexicano incluye la conservación de su medio ambiente en un área forestal de aproximadamente 115 Ha. El grupo de trabajo contó con el apoyo de los custodios del sitio con amplia experiencia y conocimientos en la identificación los

recursos y usos de la biodiversidad de la región. Marcelo Tuz May, Juan Fernando Zapata Magaña y Lorenzo Antonio Balam Lozano fueron los guías que llevaron al grupo de trabajo por el sitio para encontrar las plantas y especies que se buscaban. Además de las muestras de cortezas también se tomaron esquejes de las ramas de los árboles para su posterior identificación botánica [Figura 1], realizada por la Dra. Helga Geovannini, que estudia el paisaje de Chichén Itzá.

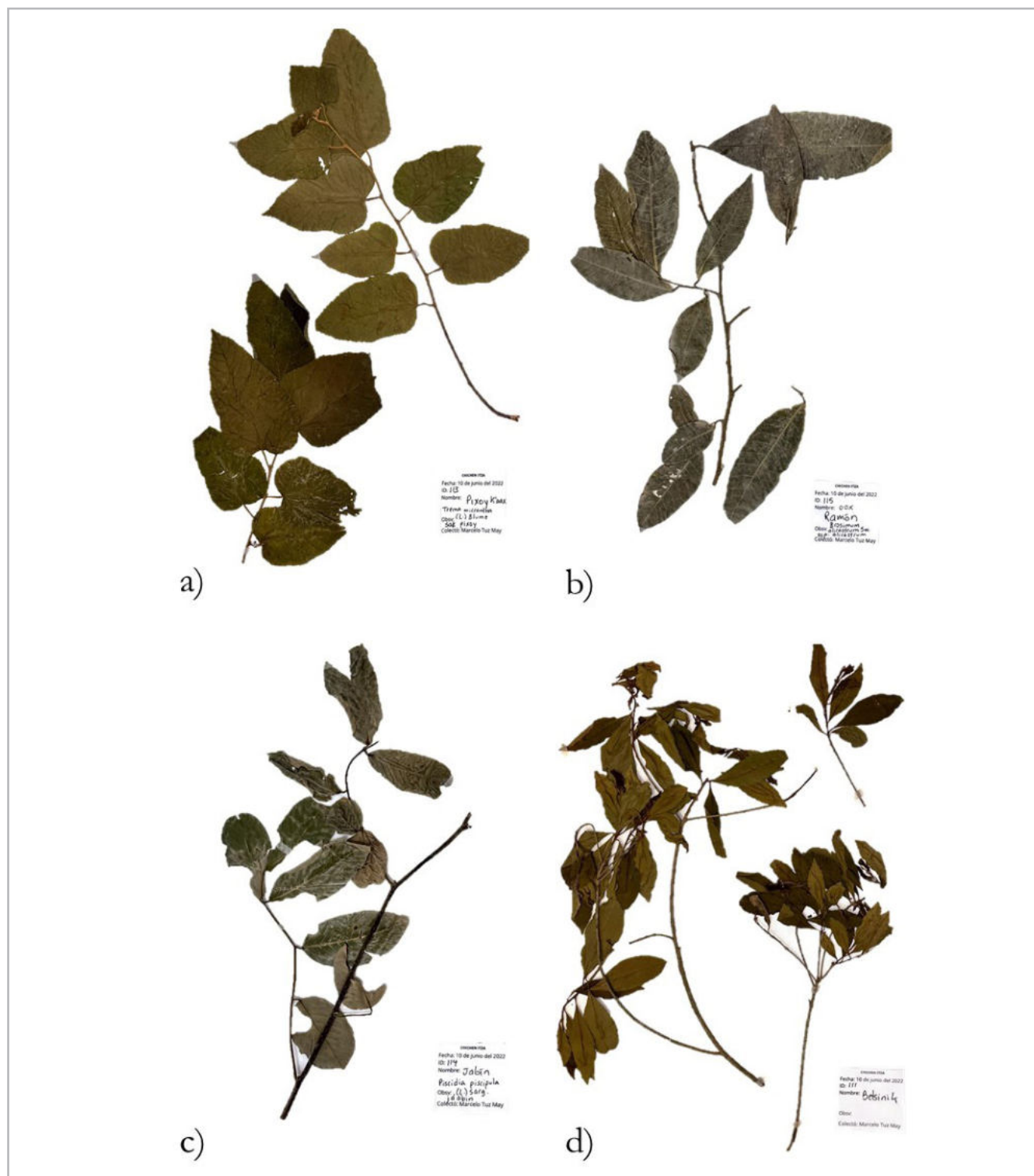


Figura 1.- Ejemplares con identificación realizada en el herbario del CICY. a) Pixoy, b) Ramón. c) Jabín, d) Bel siinik che'. Recurso propio.

— Preparación de muestras

Una vez recolectadas las cortezas, éstas fueron expuestas a un secado en ambiente natural durante 24 horas. Posteriormente, de cada una de ellas se tomaron 10 g y se insertaron en 60 ml de agua rica en cal y se maceraron durante 48 h. Del líquido obtenido se extrajo un poco para realizar pruebas de tinción sobre una base de lechada de cal. El resto del líquido se insertó en tubos de centrifuga y se llevaron a un ultracongelador para su posterior liofilización con un equipo Freezone 6 de la marca Labconco(R). Una vez realizada la liofilización se obtuvo un polvo con el que se realizó la extracción y el análisis por GC-MS. A cada polvo se le asignó una clave de muestra.

— Análisis mediante GC-MS

Tras la obtención del polvo se realizaron dos extracciones orgánicas mediante cloroformo y metanol deuterado. La extracción se realizó en viales de cristales con unas cantidades aproximadas de 10 mg por 700 µL de cada disolvente y se sometió a un baño de ultrasonidos durante 10 min. El extracto se transfirió a viales de cromatografía para su análisis por GC-MS. Los equipos empleados fueron un cromatógrafo de la marca Agilent (CG 7860) acoplado a un espectrómetro de masas /5977B, CG-EM). La columna empleada fue HP-5ms de 30m x 0.25mm x 0.25µm (Agilent, Santa Clara, Ca., USA) y la temperatura de horno se programó directamente a 501°C durante 1 minuto, después se incrementó a razón de 7° C/min hasta alcanzar 300°C y se mantuvo durante 3 minutos. La respuesta del detector de masas en modo de impacto electrónico se generó a 70 Ev y se monitoreó en formato TIC SCAN (total ion current) de 50 a 650 m/z. El gas acarreador utilizado fue helio a razón de 1mL/min. La identificación de los picos o máximos de los cromatogramas se llevó a cabo mediante la base de datos del National Institute of Standards and Technology NIST 2017.

Una vez obtenidos los cromatogramas y los reportes, se procedió a la sistematización e interpretación de los resultados. La sistematización se realizó mediante el análisis de los reportes obtenidos en el software ChemStation con la base NIST 2017. Se seleccionaron los compuestos cuyo patrón de fragmentación resultara con un alto grado de porcentaje de similitud con aquellos en la base de datos, siempre mayor al 80%. Aunque la mayoría de los compuestos tienen una similitud del 90% con la base de datos. Aquellos metabolitos seleccionados se insertaron en una tabla que resumió las identificaciones por muestra. Se descartaron aquellas moléculas de origen sintético, de acuerdo con las bases de datos por considerarse posibles contaminantes del disolvente. Posteriormente, se realizó otra tabla para clasificar por tipos las moléculas encontradas. Una vez realizada la sistematización se procedió a realizar la interpretación y comparativa entre las distintas cortezas y disolventes empleados.

Finalmente, se procedió a realizar el análisis de una muestra arqueológica como estudio preliminar y comparativa con el

fin de conocer si los resultados obtenidos eran comparables a muestras arqueológicas. La muestra proviene de la pintura mural de la Subestructura del Templo de los Guerreros, recolectada del material acumulado en el piso durante la restauración de este contexto en 2019 por parte del Proyecto de Conservación Integral Chichén Itzá del INAH. Para su procesamiento se separó la capa pictórica mediante abrasión con bisturí, obteniéndose una cantidad de muestra de 10 mg. Este polvo se insertó en un vial con 300 µL de cloroformo deuterado y se sometió a un baño de ultrasonido durante 30 min. Finalmente, se dejó precipitar para tomar el sobrenadante, colocándose en un inserto de 200 µL de volumen. Al evaporar el cloroformo, se repitió el proceso con metanol deuterado. Una vez obtenido el líquido se procedió con la misma metodología utilizada en las extracciones de cortezas.

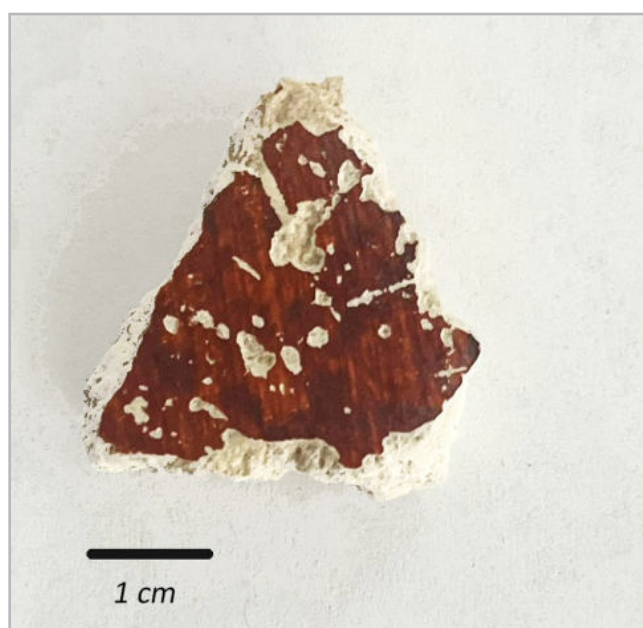


Figura 2.- Muestra 340CPCHI proveniente del sitio arqueológico de Chichén Itzá.

Acercamiento a la diversidad biológica del Territorio Maya

Para conocer sobre la vegetación y las especies de la región de la Península de Yucatán se realizó una revisión de su diversidad biológica. Desde la visión maya, los elementos naturales y los seres humanos formaban parte de un universo en equilibrio, de ahí que las antiguas sociedades mayas procuraran un sistema de explotación múltiple de los recursos naturales de forma optimizada y sustentable que garantizase la supervivencia (Toledo *et al.* 2008: 351). Aunque buscaban este equilibrio, los terrenos más cercanos a las ciudades prehispánicas podían ser manipulados al sembrar algunas especies que les resultase más útiles, tal es el caso del Ramón (*Brosimum alicastrum* Sw.), el cual es abundante cerca de los sitios arqueológicos, y al *Pet Kot* (espacio para cultivar) (Rico-Gray 1992).

La rica diversidad biológica determinada por los distintos climas del territorio maya, así como por la altitud y latitud y la cercanía del mar, destaca por el enorme volumen de especies endémicas, con gran variedad de subespecies y grupos taxonómicos (Semarnat 2008: 149). Esto implica que muchas especies reciban el mismo nombre común, aunque sean especies o subespecies botánicas distintas. Por tanto, una especie solo puede tener un nombre científico en latín, pero con nombres comunes que se refieren a plantas completamente diferentes (Buckle 2014: 38), lo cual se complica cuando las nombran en español y en maya. Por lo general, los nombres asignados en maya hacen referencia a las cualidades que poseían (Magaloni 2001). Determinadas especies tienen una amplia distribución geográfica, pero también algunas pertenecen a determinados nichos ecológicos con una distribución más localizada.

En el área maya podemos encontrar los siguientes tipos de vegetación (Challenger y Soberón 2008; Flores y Gerez 1994 y Semarnat 2008) [Figura 3].

- La selva alta templada de coníferas y latifoliadas se distribuye por la cordillera Central o Sierra Madre de Chiapas y las zonas altas de Chiapas y Guatemala. En este tipo de bosques es especialmente importante la especie de tipo *Pinus* junto con *Cedrus*, *Juniperus* y *Quercus*. Dentro del territorio maya este tipo de vegetación es la típica de las Tierras Altas Mayas. Esta vegetación comparte territorio y extensión con las selvas mesófilas de montaña. La mayor

diferencia es su posición en altitud, mientras las primeras están en zonas de mucha altitud, entre los 2000 y los 3400 m, la segunda se ubican entre 800 y 1500 m.

- La selva tipo tropical perennifolia se encuentra ampliamente distribuida siendo las más frecuentes las especies de las familias de la *Leguminosae*, *Moraceae*, *Lauraceae*, *Sapotaceae* y *Rubiaceae*. Se subdivide en: selva alta perennifolia por la región lacandona; selva alta subperennifolia y selva mediana perennifolia por la región sur de la Península de Yucatán; selva baja perennifolia por la Península de Yucatán y Chiapas. La selva tropical perennifolia se distribuye por el noreste, centro y sur de las Tierras Bajas Mayas.

- La selva tropical caducifolia se sitúa en las planicies llanuras y otras zonas bajas e inundables de la Península de Yucatán, lo que es la zona noroeste y centro-oeste de las Tierras Bajas Mayas. En esta vegetación son de especial importancia las especies de tipo *Burseraceae*, *Leguminosae*, *Euphorbiaceae*, *Cactaceae*, *Lysiloma* y *Malvaceae*.

- Por último, cerca de las zonas de costa y en algunas zonas inundables del interior de la Península de Yucatán también se puede encontrar los humedales. En las costas cobran especial relevancia los de tipo manglar siendo los más relevantes el mangle rojo, mangle negro y el mangle blanco, así como otras plantas como el botoncillo.

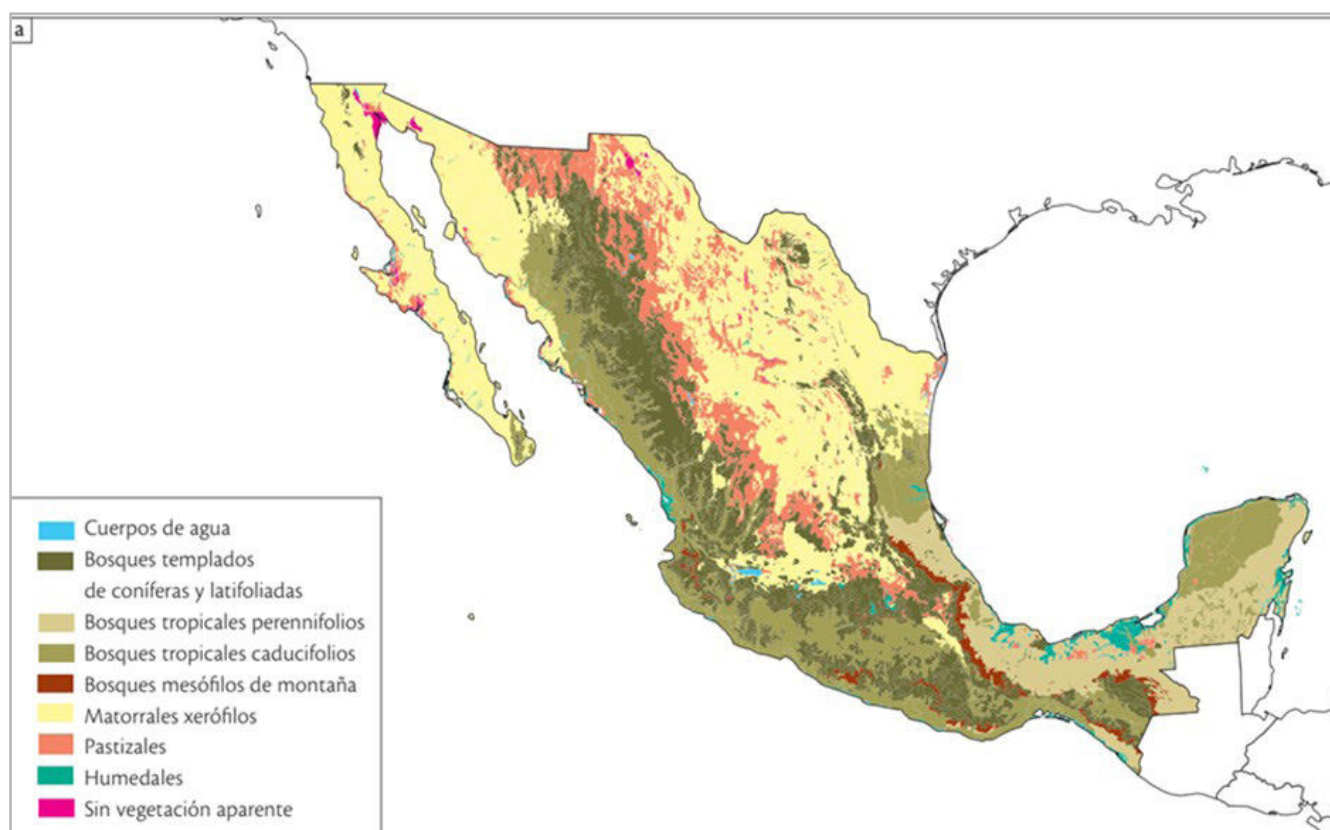


Figura 3.- Mapa de la diversidad biológica en México. Tomado de Challenger y Soberón (2008: 91).

Recolección y arqueología experimental de posibles cortezas y exudados de plantas en el alrededor y dentro del sitio arqueológico de Chichén Itzá

Para nuestro estudio, la recolección se realizó en una zona de selva tropical caducifolia que puede estar combinada con vegetación propia de la selva tropical perennifolia. La visita al herbario tuvo como objetivo identificar un área de gran diversidad de especies cercana a un sitio arqueológico. Así, la selección del sitio arqueológico de Chichén Itzá se debió a la importancia que este ha tenido para recopilar información de tipo etnográfico y al alto registro en el herbario del CICY de especies documentadas.

En la recolección de especies de Chichén Itzá se recogieron 13 muestras de cortezas de diferentes especies y 4 extractos puros exudados por la planta tras haber retirado la corteza. A los cuatro exudados puros extraídos de las plantas se les

indicó con la clave MRR (Muestra Referencia Resina) [Tabla 2] para diferenciarlas de las muestras que se obtendrían con la maceración de las cortezas, llamadas MRGO (Muestra Referencia Gomas) [Tabla 2]. De esta forma se entiende que los exudados son resinas al ser menos solubles en agua y, en cambio, a las sustancias obtenidas mediante la maceración se les denominó gomas ya que éstas son solubles en agua y pudieron ser parte de la materia extraída.

De las especies recolectadas es de especial mención la que Marcelo Tuz May llamó Katsim debido a que comentó que los antiguos maestros obtenían un tinte amarillo de esa planta. Esto es de gran importancia ya que se ha documentado que el amarillo en el área maya es de origen mineral pero que pudo estar mezclado con un compuesto orgánico. La planta podría estar haciendo referencia a sak káatsim (*Mimosa bahamensis*). A esta planta se le etiquetó con la clave MRTI (Muestra referencia tinte) [Tabla 2] y se preparó de dos formas

NOMBRE COMÚN MAYA	NOMBRE COMÚN ESPAÑOL	ESPECIE	TIPO DE MATERIAL RECOPIADO	CLAVE MUESTRA
Bel siinik che´	Ardillo	<i>Alvaradoa amorphoides</i>	Exudado	MRR4
			Corteza	MRGO3
Ch'iin took	Ch'iin took	<i>Enriquebeltrania crenatifolia</i>	Corteza	MRGO7
Jabín o Ha´bin	Cedrillo	<i>Piscidia Piscipula</i>	Corteza	MRGO9
Ch'i'chi'bej	Malva de Caballo	<i>Buchnera mexicana</i>	Corteza	MRGO1
Chukum	Chukum	<i>Havardia albicans</i> / <i>Pithecellombium Albicans</i>	Corteza: Tipo 1	MRGO11
			Corteza: Tipo 2	MRGO 10
Kikché / Ek	Palo de Campeche	<i>Haematoxylum campechianum</i>	Corteza	MRGO6
Chakaj / Chakáh	Palo mulato	<i>Bursera simaruba</i>	Exudado	MRR3
			Corteza	MRGO5
Pixoy	Pixoy	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Corteza	MRGO4
Oxx	Ramón	<i>Brosimum alicastrum Swarts</i>	Exudado	MRR1
			Corteza	MRGO12
Tzalam	Tzalam	<i>Lysiloma latisiliquum</i>	Corteza	MRGO8
Chacte	Palo colorado	<i>Caesalpinia Platyloba</i> / <i>Caesalpinia violacea</i>	Corteza	MRGO13
Chak oox	Mora	<i>Maclura tinctoria</i>	Exudado	MRR2
			Corteza	MRGO2
Sak káatsim	Katsim	<i>Mimosa bahamensis</i>	Molida	MRTI1
			Sin moler	MRTI2

Tabla 2. -Especies recolectadas en el sitio arqueológico de Chichén Itzá en relación al tipo de material recogido (corteza o exudado) y las claves de muestra asignadas. En la tabla se asignan las claves al producto obtenido: las claves MRR hacen referencia a los exudados pro las plantas; las MRGO hacen referencia a las aguas enriquecidas obtenidas de la maceración de las cortezas; y las MRTI hace referencia al agua enriquecida obtenida mediante moler o sin moler la planta del Katsim Recurso propio.

distintas: MRTI1 con un proceso de molienda y MRTI2 sin ser molida. De la planta del Chukum se recopilaron dos muestras ya que Marcelo Tuz May observó dos tipos de Chukum sin que al momento se pudieran diferenciar las especies. Además, Marcelo Tuz sugirió recoger más cortezas ya que comentó que había otras especies que pudieron ser empleadas con distintos usos: Ardillo, Capuncillo, Malva de Caballo y Tzalam.

La extracción por maceración de las cortezas permitió observar que las distintas cortezas expulsaban ciertos taninos dando distintas coloraciones a las aguas, lo cual sugiere que los mayas eligieron estas cortezas dependiendo del uso que le iban a dar. Por tal motivo, se hicieron pruebas de tinción sobre una capa de cal [Figura 4]. Los resultados evidenciaron cómo algunas tienen más capacidad que las otras para tinter de forma más homogénea e intensa que otras: Tzalam, ChuKum tipo 1, Belsinik, Pixoy y Chintok son las cortezas que más color proporcionaron, hacia un tono rojizo; el Kikché, Jabín y el Chacté dieron tonos hacia el marrón; el Chukum tipo 2 tonó hacia el amarillo claro; mientras que la Mora, el Chakaj y el Ramón fueron los que menos color proporcionaron siendo los más claros. Dos años después se ha reexaminado la capacidad de mantener el color de estas cortezas y se ha observado que todas ellas han sufrido una considerable pérdida de color.

Tabla 2: Especies recolectadas en el sitio arqueológico de Chichén Itzá en relación al tipo de material recogido (corteza o exudado) y las claves de muestra asignadas. En la tabla se asignan las claves al producto obtenido: las claves MRR hacen referencia a los exudados pro las plantas; las MRGO hacen referencia a las aguas enriquecidas obtenidas de la maceración de las cortezas; y las MRTI hace referencia al agua enriquecida obtenida mediante moler o sin moler la planta del Katsim Recurso propio.

Análisis de Cromatografía de Gases acoplada a Espectroscopía de Masas

MUESTRA	EXTRACCIÓN CON CLOROFORMO	EXTRACCIÓN CON METANOL
MRGO1	3	8
MRGO2	0	0
MRGO3	0	1
MRGO4	3	2
MRGO5	1	2
MRGO6	1	1
MRGO7	0	2
MRGO8	1	0
MRGO9	0	3
MRGO10	1	1
MRGO11	4	1
MRGO12	2	4
MRGO13	8	0
MRTI1	1	4
MRTI2	1	0
MRR1	5	14
MRR2	13	12
MRR3	25	15
MRR4	3	1

Tabla 3.- Número de compuestos que se han identificado por muestra y por disolvente. Recurso propio

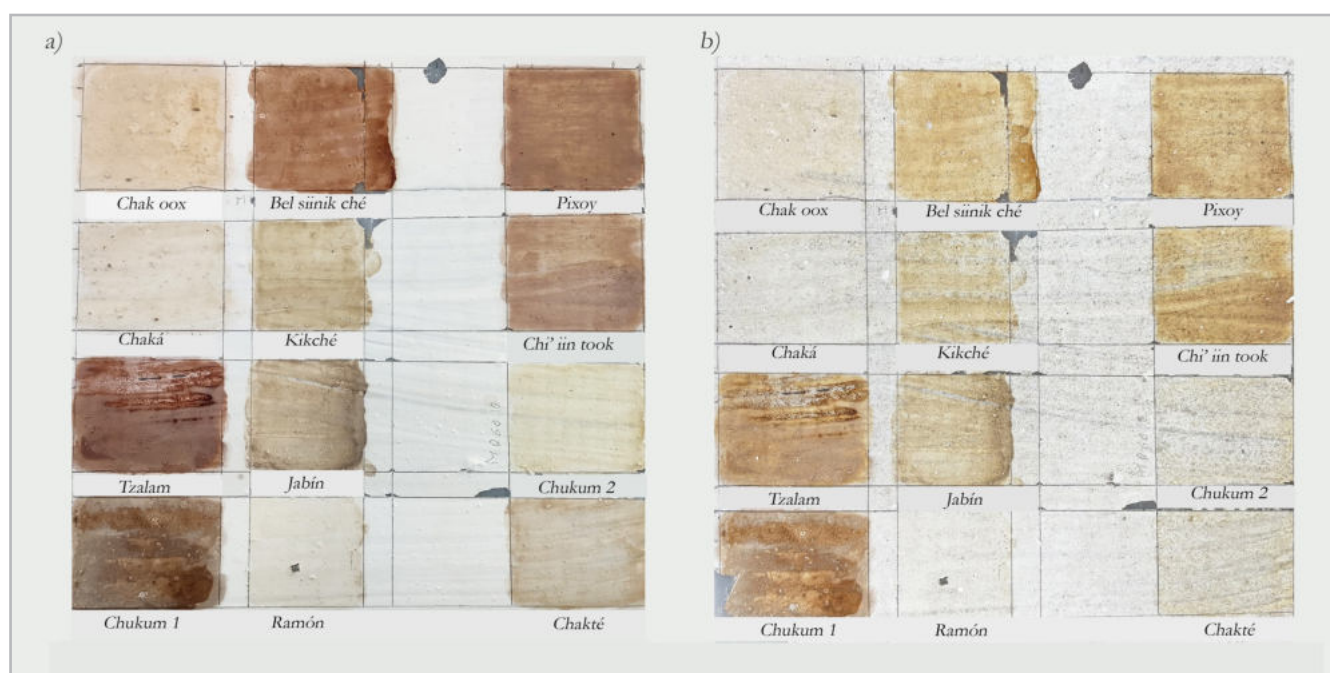


Figura 4.- Pruebas de tinción de las aguas enriquecidas. A la izquierda aparece la fotografía realizada nada más aplicar el agua enriquecida sobre una capa de cal (a). A la izquierda una fotografía tomada 2 años después de la aplicación de las aguas enriquecidas para evaluar si la pérdida de color con el paso del tiempo (b).

Al llevar a cabo las extracciones [Tabla 3, Tabla 4], tanto el metanol como el cloroformo, han permitido una mayor extracción de los compuestos en los exudados (MRR) que en las aguas enriquecidas (MRGO y MRTI). El principal grupo identificado en las aguas enriquecidas son los monoterpenos. El monoterpeno más importante identificado es la molécula del limoneno y sus isómeros (D-Limoneno) que aparece en la mayoría de los extractos acuosos (MRGO3; MRGO4; MRGO5; MRGO6; MRGO8; MRGO10; MRGO11 y MRGO12), en los exudados de las MRR2, MRR3 y MRR4 y es el único compuesto identificado en las MRTI1 y 2. El monoterpeno de α -Himachaleno y

su enantiómero β -Himachaleno aparece exclusivamente en la MRGO 5 y MRR3. El agua enriquecida de la muestra MRGO6 también tiene otro monoterpeno exclusivo, el enantiómero L- α -Terpineol. Las muestras MRGO4, MRGO11 y MRGO13 poseen varios monoterpenos más allá del limoneno que son el cimeno y terpineno. Además, la MRGO13 [Figura 5a] tiene dos compuestos monoterpénicos exclusivos que son el miceno y el estireno. Es destacable que la muestra MRGO2 no presentó ningún compuesto, frente a la MRGO1 que es la muestra que más compuestos tiene identificados, seguida de la MRGO12.

GRUPO FUNCIONAL / TIPO DE MOLÉCULA	MOLÉCULAS EXTRAÍDAS POR CLOROFORMO	MOLÉCULAS EXTRAÍDAS POR METANOL
TERPENOS: MONOTERPENOS	L- α -Terpineol d-limoneno o-cimeno γ -terpineno β -myrceno	D-limoneno limoneno o-cimeno
TERPENOIDES: DITERPENOS	deshidroabietato de metilo	
TERPENOIDES: TRIPERPENOS		lupeol lup-20(29)-en-3-ol, acetato, (3. β)- betulino esqualeno supraeno glutanol
TERPENOIDES: SESQUITERPENOS	(R)- β -himachaleno	aR-Himachalene
ÁCIDOS GRASOS	Ácido hexadecanoico, methyl ester ácido n-Hexadecanoico ácido Octadecanoico hexadecanamida	(Z)-hexadec-9-enoato de metilo ácido hexadecanoico, metilo ester metilo 10-trans,12-cis-octadecadienoato ácido 9-octadecenoico (Z)-, metilo ester ácido heptadecanoico, 16-metilo-, metilo ester
HIDROCARBUROS	styreno heneicosano	
FENOLES		3,4,5-trimetoxifenol fenol, 3,4,5-trimetoxi-
AMONOÁCIDO		ácido 1-metilpirrolidina-2-carboxílico

Tabla 4.- Moléculas identificadas en relación al disolvente empleado y el grupo funcional o tipo de molécula. Recurso propio

Las muestras MRGO1, MRGO11, MRGO13, además de los monoterpenos, presentan compuestos como ácidos grasos y ésteres (Metilo hexadec-9-enoato; Ácido Hexadecanoico, methyl ester; Metilo 10-trans,12-cis-octadecadienoato; Ácido 9-Octadecenoico (Z)-, metilo ester), y las muestras MRGO10 Y MRGO12 también presentan un compuesto fenólico (3,4,5- trimetoxifenol. La muestra MRGO12, además, presenta un compuesto único, el diterpeno Deshidroabietato de metilo.

Las muestras MRGO7 y MRGO9 poseen los compuestos triterpénicos escualeno y supraeno, los cuales no se han identificado en ninguna otra muestra.

Por otro lado, las muestras de exudados (MRR1, 2, 3 y 4) [Figura 5b] presentaron tipos de moléculas adicionales incorporando algunos hidrocarburos naturales, diterpenos, terpenos oxidados, sesquiterpenos y triterpenos. Todos ellos tienen un mayor peso molecular y aparecen con tiempos de retención de los 20 a los 40 min a diferencia de los monoterpenos que aparecen con tiempos de retención de los 5 a los 20. Sin embargo, son las MRR2 y 3 las que mayor número de compuestos han presentado, siendo las MRR 1 y 4 aquellas con mayor similitud en cuanto al perfil químico con los observados para las correspondientes a las aguas enriquecidas.

La muestra CP340 de Chichén [Figura 6] contiene compuestos muy similares a las muestras de aguas enriquecidas y exudados. Aunque en esta muestra destaca el grupo de moléculas de terpenoides, especialmente los monoterpenos como el limoneno, el cimeno y el terpineno, los cuales aparecen en los tiempos de retención de los 5 a los 10, debido a su bajo peso molecular.

Los tipos de compuestos identificados, y mencionados anteriormente son, en su mayoría, componentes de los aceites esenciales (Buckle 2014). En los aceites esenciales los compuestos terpenoides y los hidrocarburos volátiles no terpenoides son los componentes más importantes (Baser y Demerci 2011). Sin embargo, este tipo de aceites esenciales pueden aparecer en distintas partes de las plantas y, a su vez, las distintas partes de la planta pueden producir aceites con perfiles químicos diferentes (Buckle 2014).

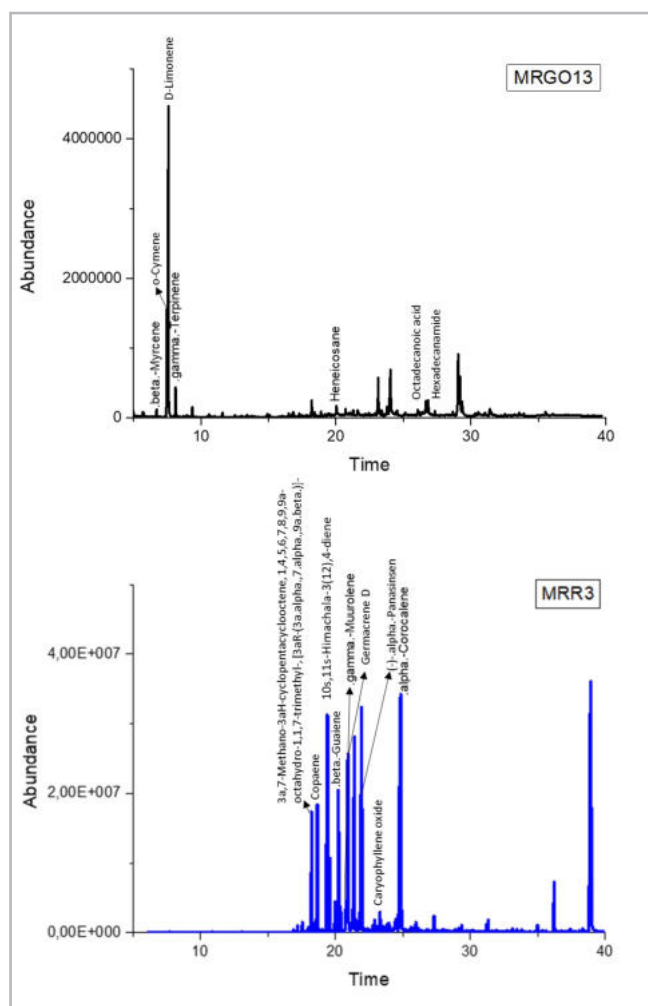


Figura 5.- a) Cromatograma de la extracción por cloroformo de la muestra MRGO13. En este cromatograma se observa cómo la muestra tiene mayor abundancia de los compuestos monoterpénicos, pero también otros metabolitos con mayor peso molecular. b) Cromatograma de la extracción por cloroformo de la muestra MRR3. El cromatograma representativo de aquellos exudados con mayor abundancia de compuestos con mayor peso molecular y menos presencia de los monoterpénicos.

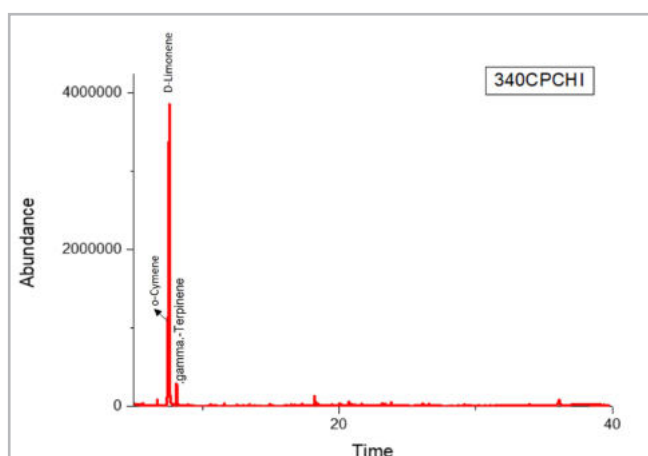


Figura 6.- Cromatograma de la extracción por cloroformo de la muestra 340CPCHI donde se observan con mayor intensidad los picos correspondientes a los monoterpénicos del limoneno, cimeno y terpineno.

Discusión

El estudio etnohistórico, de las fuentes históricas y las referencias bibliográficas, así como, la revisión de la diversidad geográfica de la Península de Yucatán, ha permitido realizar un listado de plantas con posibles propiedades ligantes y que pudieron ser usadas como aditivos, así como la selección de área de recolección. A pesar de este conocimiento, la integración de los saberes locales para la recolección de muestras fue crucial para incorporar nuevas plantas, y una con especial relevancia (*Sak káatsim*), al tener potencial como colorante.

El trabajo de campo también permitió observar que el empleo de resinas o extractos puros es complicado, ya que de todas las plantas de las que se extrajeron cortezas solo cuatro dieron un exudado puro y en poca cantidad. Esto hace que sea poco probable que los antiguos mayas pudieran extraer una gran cantidad de exudado suficiente para pintar sus grandes edificios, ya que implicaría la deforestación de ciertas especies. Esto abre la posibilidad de la existencia de varias fuentes para la obtención de los aditivos. Las resinas no son solubles en agua, en cambio sí lo son las gomas. Una forma de obtener un gran volumen de estas gomas, junto a otros productos, pudo ser la maceración de diversas cortezas dada la gran diversidad vegetal.

Por otro lado, se ha propuesto que los antiguos artistas combinaban estos materiales aglutinantes con pigmentos y distintas arcillas para crear la rica paleta cromática propia de los murales mayas y la base del color en los acabados arquitectónicos (Hansen, Hansen y Derrik 1995; Vázquez de Ágredos 2006; García *et al.* 2016). Las pruebas de tinción realizadas apoyarían esta suposición. Sin embargo, las pruebas realizadas no muestran una gran estabilidad a largo tiempo. La tecnología de combinar un colorante orgánico con cierto tipo de arcillas para crear un pigmento laca fue la base del azul y verde maya después de someter a una serie de procesos alcalinos y de calor (Doménech *et al.* 2019). Esto pudo trasladarse a los otros colores, donde las aguas enriquecidas no sólo sirvieron para aglutinar sino también para intensificar los colores. De esta forma, la unión de un pigmento mineral, junto las arcillas y la capacidad tintorea de las aguas coloreadas empleadas permitiría su aplicación a grandes superficies con poco material. Para corroborar lo anterior, se debe experimentar estas mezclas con los aditivos identificados.

Guasch-Ferré *et al.* 2019: 217, en su análisis de polisacáridos, propuso que junto a los monosacáridos provenientes de las gomas vegetales pudieron extraerse de las cortezas y diversas partes de las plantas cantidades significativas de otros materiales solubles en agua y en un medio alcalino. La presente investigación demuestra que mediante la maceración de las cortezas son extraíbles diferentes compuestos de distinta polaridad y que también forman parte de los exudados de las plantas. Dentro del grupo de los terpenos el limoneno resalta al ser identificado en ocho de las trece muestras de las aguas enriquecidas analizadas. Este compuesto podría ser relevante a la hora de relacionar especies de plantas, ya que está presente en la capa de color de la muestra arqueológica. Junto al limoneno, otros

compuestos parecen ser más característicos de algunas especies que de otras: Himachalene en las muestras pertenecientes a la especie de la MRGO 5 (chakaj); L- α -Terpineol en la MRGO6 (Palo de Campeche); y el cimeno y terpineno de las MRGO4 (Pixoy), MRGO11 (Chukum) y MRGO13 (Palo colorado). La identificación de estos compuestos permite tener un mejor acercamiento al tipo de especies utilizadas para la realización de la pintura en los contextos prehispánicos del área maya.

De igual manera, junto la presencia de los monoterpenos es relevante otros grupos de moléculas como los ácidos grasos, ésteres y triterpenos porque son exclusivos de algunas especies. En cambio, en los exudados, el grupo de monoterpenos tiene menos relevancia frente a los compuestos de mayor peso molecular (hidrocarburos naturales, diterpenos, terpenos oxidados, sesquiterpenos y triterpenos).

El análisis de la muestra arqueológica proveniente de Chichén Itzá demuestra que algunos compuestos obtenidos de menor polaridad fueron extraíbles como parte de la sustancia glutinosa para la aplicación de color. Esto se ve reforzado en un estudio sobre los aglutinantes en capas pictóricas del sitio arqueológico de Acanceh publicado recientemente (Martínez et al. 2025) y donde también se encontraron los compuestos identificados en las muestras de aguas enriquecidas, los exudados y en la muestra arqueológica de Chichén Itzá.

Consideraciones finales

Este estudio es un primer acercamiento a la identificación de compuestos de baja y mediana polaridad en las cortezas de árboles y plantas utilizados en la pintura prehispánica, aunque los resultados todavía no permiten asignar una especie o una familia. En la comparación de los extractos con la muestra arqueológica existe concordancia en la identificación de compuestos de aceites esenciales, como el limoneno, el cimeno y el terpineno. De esta forma, se puede intuir que los aceites esenciales jugaron un papel fundamental a la hora de aplicar las capas pictóricas a los acabados arquitectónicos. En este sentido futuras investigaciones deberían ahondar en la función de los aceites esenciales en las capas pictóricas y los morteros.

Con estos resultados preliminares queda la tarea de afinar esta metodología y crear una base completa del tipo de extractos identificados en muestras arqueológicas y su correspondencia con plantas y árboles de las regiones de territorio maya. El sistema de secreción y almacenamiento de aceites esenciales en plantas puede ser útil para la identificación de plantas (Buckle 2014). Los resultados obtenidos muestran que es posible extraer otros compuestos del proceso de la maceración de cortezas, además de las gomas y los polisacáridos. A nivel de conservación estos hallazgos permiten abrir una nueva línea de trabajo en el patrimonio pictórico prehispánico y, en especial las obras pictóricas mayas. La utilización de compuestos provenientes de aceites esenciales para conservación ya cuenta con algunos trabajos exploratorios en Europa la acción antimicrobiana de los aceites

esenciales asociados al biodeterioro (Palla et al. 2020 y Rotolo et al. 2018), lo cual sería necesario estudiar su efectividad en contextos tropicales como el sureste mexicano.

Agradecimientos

Los autores agradecen la participación en el trabajo de campo y su contribución para nuevas aportaciones sobre el conocimiento heredado por los mayas actuales a Marcelo Tuz May, Juan Fernando Zapata Magaña y Lorenzo Antonio Balam Lozano. Los agradecimientos se hacen extensivos al Mtro. Víctor Ceja y al Dr. José Quinatzin, este último, director del Laboratorio de Geoquímica Marina de la Unidad Mérida del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), en cuyos laboratorios se llevaron a cabo los análisis de este estudio. Finalmente, también se agradece el apoyo de la Dra. Patricia Quintana Owen y al Laboratorio Nacional de Nano y Biomateriales (LANNBIO) de la misma institución, y a la Dra. Helga Geovannini miembro activo del Proyecto de Conservación Integral de Chichén Itzá del INAH.

Referencias

- BASER K. H. C. y DEMIRCI F. (2011). *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. 4th edition. Wiley.
- BRETON, A. C. (1905): "The Wall Paintings at Chichén Itzá". En *Proceedings of the 15th International Congress of Americanists*, Argentina 1: 245-247
- BUCKLE, J. (2014). *Clinical Aromatherapy. Essential Oils in Healthcare*, 3rd edition, England: Churchill Livingstone
- CHALLENGER, A., y SOBERÓN, J. (2008). "Los ecosistemas terrestres". En *Capital natural de México, Conocimiento actual de la biodiversidad, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)*, México 1: 87-108.
- DOMÉNECH-CARBÓ, A.; DOMÉNECH-CARBÓ, M^a T.; SÁNCHEZ DEL RIO, M.; VÁZQUEZ DE ÁGREDOS, M. L., y Lima, E. (2009). "Maya Blue as a nanostructured polyfunctional hybrid organic-inorganic material: the need to change paradigms", *New Journal of Chemistry* 33 (12): 2371-2379. <https://doi.org/10.1039/B901942A>
- DURÁN, R. y GARCÍA, G. (2010). "Distribución espacial de la vegetación". En *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*, Durán, R. y Méndez, M. (eds). México: CICY
- FLORES, O. y GEREZ, P. (1994). *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso de suelo*, Universidad Autónoma de México, México.
- GARCIA MORENO, R., STRIVAY, D. y GILBERT, B. (2008). "Maya blue-green pigments found in Calakmul, Mexico: a study by Raman and UV-visible spectroscopy", *J. Raman Spectroscopy* 39: 1050-1056. <https://doi.org/10.1002/jrs.1972>

- GARCÍA, C. y JÁIDAR, Y. (2013). "El uso de aditivos orgánicos en mezclas de cal en el área maya". En *La Cal: Historia, Propiedades y Usos*, Barba, L. y Villaseñor, I. (eds.), México: Universidad Autónoma de México y Asociación Nacional de Fabricantes de Cal, 115-138
- GARCÍA, C. y VALENCIA, B. (1997). "El deterioro de piedra en la Zona Arqueológica de Chicanná, Campeche, y una propuesta para su conservación", Tesis de licenciatura en conservación-restauración de bienes muebles, México, ENCRyM-INAH.
- GARCIA SOLIS, C.; MENDOZA ANAYA, D. y QUINTANA OWEN, P. (2016). "La escultura arquitectónica modelada en estuco de Calakmul, Campeche, México: la transformación material en el proceso tecnológico" *Intervención* 7(14): 16-30. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-249X2016000200016&lng=es&nrm=iso ISSN 2007-249X.
- GETTENS, R.J. (1962). "Maya Blue: an unsolved problem in ancient pigments". *American Antiquity* 27: 557-564
- GUASCH-FERRÉ, N. (2016). *Optimizació de mètodes multitàcnica per a la caracterizació de components orgànics i morters de calç tradicional de l'antiguitat. Desenvolupament de metodologies experimentals per a la seva conservació i restauració. Aplicació a un cas d'estudi: els estucs de la pintura mural de la cultura maia* (Antiga Mesoamèrica). Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.
- GUASCH-FERRÉ, N.; PRADA, J. L.; VÁZQUEZ DE ÁGREDOS, M^a L.; OSETE, L. y DOMÉNECH, M^a T. (2019). "Polysaccharide remains in Maya mural paintings: is it an evidence of the use of plant gums as binding medium of pigments and additive in the mortar?", *Star: Science & Technology of archeological research*, 5 (2): 200-220 <https://doi.org/10.1080/20548923.2020.1720377>
- HANAU, R.; MASCHELEIN, L.; THISSEN, J. y TRICOT, F. (1966). "Les peintures murales mayas de Bonampak : Analyse des matériaux", *Boletín IX, Institute Royal de Patrimoine Artistique*, 9: 18-22.
- HANSEN, E.; HANSEN R. y DERRIK (1995). "Los análisis de los estucos y pinturas arquitectónicas de Nakbé: resultados preliminares de los estudios de los métodos y materiales de producción". En *VII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, Laporte, J. P. y Escobedo, H. L. (eds), Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología, 543-560
- LANDA, D. (1973). *Relación de las cosas de Yucatán*, México: Porrúa
- LITTMAN, R. E. (1958). "Ancient Mesoamerican mortars, plasters and stuccos: The composition and origin of Sascab", *American Antiquity*, 24(2): 172-176
- MAGALONI, D. (1996). *Materiales y técnicas de la pintura mural maya. Tesis de maestría*. Universidad Autónoma de México
- MAGALONI, D. (1998). "El arte en el hacer: técnica pictórica y color en las pinturas de Bonampak". En *La pintura mural prehispánica en México, Área Maya*, México: IIE-UNAM (Instituto de Ideas Estéticas-Universidad Autónoma de México), 2(2):49-80
- MAGALONI, D. (2001). "Materiales y técnicas de la pintura mural maya", *La pintura mural prehispánica en México, Área Maya*, Vol. II Tomo III, Staines, L. (coord.), México: IIE-UNAM (Instituto de Ideas Estéticas-Universidad Autónoma de México), 2(3):155-198
- MAGALONI, D.; PANCELLA, P.; FRUH; CAÑETAS, J. y CASTAÑO, V. (1995a). "Studies on the mayan mortars technique". En *Materials Research Society Symposium Proceedings* (MRS Biblioteca (OPL)), England: Cambridge University Press, 352: 381-388 <https://doi.org/10.1557/PROC-352-483>
- MAGALONI, D.; NEWMAN, R.; BAÑOS, L.; CASTAÑO, V.; PANCELLA, R. y FRUH, Y. (1995b). "An analysis of mayan painting techniques at Bonampak, Chiapas, Mexico". En *Materials Research Society Symposium Proceedings* (MRS Biblioteca (OPL)), England: Prensa de la Universidad de Cambridge, 352: 381-388 <https://doi.org/10.1557/PROC-352-381>
- MARTÍNEZ SALES, J.; HERNÁNDEZ-BOLIO, G.; HERNÁNDEZ NUÑEZ, E.; OCAMPO FLORES, C.; VÁZQUEZ DE ÁGREDOS, M^o L. Y VIDAL LORENZO, C. (2025). "Plant and animal molecules non previously identified in Maya mural paintings: First results from Acanceh", *Journal of Archaeological Science: Reports*, 67: 1-11 <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2025.105348>
- MORLEY, S. G. (1925). "Report of E. H. Morris on the Mural Paintings of the Temple of the Warriors (Station 4)", *Research in Middle American Archaeology*, Morley (ed.), E.E.U.U.: Carnegie Institution of Washington, Year Book 24: 247-260
- MORRIS, E.; CHARLOT, H. J. y MORRIS, A. (1931). *The Temple of the Warriors at Chichén Itzá*, Carnegie Institution of Washington
- PALLA, F.; BRUNO, M.; MERCURIO, F. y TANTILLO, A. (2020). "Aceites esenciales como biocidas naturales en la conservación del patrimonio cultural", *molecules*, 25, <https://doi.org/10.3390/molecules25030730>
- RICO-GRAY, V. (1992). "Los mayas y el manejo de las selvas", *Ciencias*, 28: 23-26.
- ROTOLO, V.; DE CARO, M.L.; DI CARLO, E.; GIORDANO, A.; PALLA, F. (2016). "Plant extracts as green potential strategies to control the biodeterioration of cultural heritage", *Intern. J. Conservat. Sci.*, 7(2): 839-846
- RUIZ, M. C. (2010). "El pixoy como material de conservación de pintura mural y relieves policromos en el área maya", *Estudios de cultura maya*, 35: 65-90
- SEMARNAT (2008). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
- TENTORI, T. (1961). *La Pittura Precolombiana*, Italia: Società Editrice Libreria, Milano, 269
- TOLEDO, V. M.; BARRERA-BASSOLS, N.; GARCÍA FRPOLLI, E. y ALARCÓN-CHAIRES, P. (2008). "Uso múltiple y biodiversidad entre los Mayas Yucatecos (México)", *Interciencia*, 33 (5): 345-352.
- VAN OLPHEN, H. (1966). "Maya blue: a clay-organic pigment?", *Science* 154 (3749): 645-646. <https://doi.org/10.1126/science.154.3749.645>
- VÁZQUEZ DE ÁGREDOS, M.L. (2006). *Los recursos materiales y las técnicas pictóricas en los murales de las tierras bajas mayas*. Tesis doctoral. Universitat de València

VÁZQUEZ DE ÁGREDOS, M. L., (2007). *Caracterización químico-analítica de azul maya en la pintura mural de las Tierras Bajas Mayas*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia.

VÁZQUEZ DE ÁGREDOS, M. L. (2010). *La pintura mural maya: materiales y técnicas pictóricas*. México: Universidad Autónoma de México

VÁZQUEZ DEL MERCADO X. y VILLEGAS, M. (1993). *Los estucos modelados del Palacio y del Templo de las Inscripciones de Palenque: una metodología de análisis para la técnica de manufactura, tesis de licenciatura*, Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, "Manuel del Castillo Negrete (ENCRyM)", México.

VILLAGRA, A. (1949). Bonampak, La Ciudad de los Muros Pintados, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
Recursos web

EncicloVida de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO): <https://enciclovida.mx/>

Listado de especies forestales oficiales en línea del Instituto Nacional de Bosques de Guatemala: <https://consultaespecies.inab.gob.gt/>

Catálogo de Flora Ilustrada de la Península de Yucatán, del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY): <https://www.cicy.mx/sitios/flora%20digital/index.php>

Autor/es



Jorge Martínez Sales
jormars2@alumni.uv.e
Universidad de València
<https://orcid.org/0000-0002-3879-6150>

Es graduado en Historia por la Universitat de València (2013-2017) donde elaboró un estudio comparativo de las fuentes escritas y arqueológicas sobre el Templo de Júpiter óptimo Máximo en Roma. Continuó sus estudios de especialización en la misma institución con el máster en Arqueología (2017-18) periodo en el cual empezó a aplicar las técnicas analíticas a las culturas precolombinas realizando su Trabajo Final de Máster sobre restos de color en adobe en la ciudad de Teotihuacán (México). Posteriormente, se trasladó a la Universidad Autónoma de Yucatán para continuar su especialización interdisciplinar estudiando la Maestría en Conservación del Patrimonio Arquitectónico donde realizó su Tesis de Maestría en el en el sitio arqueológico de Mayapán (México). Actualmente está cursando el Doctorado en Historia del Arte por la Universidad de València que continúa trabajando el estudio del color en el área maya. Por tanto, su área de trabajo se centra en el mundo antiguo y las culturas precolombinas. Pariendo desde una mirada interdisciplinar estudia los objetos del pasado, especialmente centrada principalmente en la rama de la arqueometría y los análisis físico-químicos aplicados al patrimonio cultural. Su experiencia laboral se ha centrado como analista de materiales en el Proyecto de Conservación de Chichén Itzá (2023). Por otra parte, ha contribuido a la investigación científica participando en múltiples reuniones, congresos y simposios de carácter internacional y nacional, así como, publicando en revistas de alto impacto como la Journal of Archaeological Science: Reports.



Claudia A. García Solís
claudia_garciasl@inah.gob.mx
Sección de Conservación del Centro Yucatán del
Instituto Nacional de Antropología e Historia
<https://orcid.org/0000-0002-5007-891X>

Es una conservadora e investigadora mexicana del Centro INAH Yucatán, además de Nivel 1 en el SNII. Es egresada de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía 'Manuel del Castillo Negrete' con estudios de arqueología con maestría de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) y doctorado en La Trobe University, Australia. Con más de 20 años de experiencia ha estudiado y se ha especializado en la de conservación y manejo del patrimonio arqueológico e histórico de la región sureste de México, coordinado decenas de proyectos de conservación de acabados arquitectónicos en varios sitios del área maya como Mayapán, Becán, Chicanná, Calakmul, Chichén Itzá, entre otros. En Chichén Itzá, desde el 2005, es la responsable de su conservación. En 2011 fue merecedora del Premio Paul Coremans en reconocimiento a los resultados del proyecto de conservación de la pintura mural del sitio de Mayapán. En colaboración interdisciplinaria su línea de estudio está enfocada a la arqueometría de los acabados arquitectónicos para abonar al conocimiento histórico y para profundizar sobre mecanismos de deterioro. Así como realiza estudios orientados a generar nuevas metodologías para la resolución de los problemas específicos de conservación.



Gloria I. Hernández Bolio
gloria.hernandez@cinvestav.mx
Departamento de Física Aplicada del
Cinvestav Unidad Mérida
<https://orcid.org/0000-0002-4979-8979>

Es Doctora en Ciencias Biológicas con especialidad en Biotecnología (Centro de Investigación Científica de Yucatán), enfocada principalmente en química de productos naturales. Es Investigadora Nacional Nivel I y actualmente es investigadora posdoctoral en el Departamento de Física Aplicada del Cinvestav Unidad Mérida. Su investigación incluye la detección y elucidación de productos naturales y bioactivos de plantas y organismos marinos, metabolómica, espectroscopía de resonancia magnética nuclear y arqueometría. Sus intereses particulares se centran en la detección de moléculas orgánicas en contextos funerarios y el análisis isotópico de dientes y huesos humanos.



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1448>



II JORNADAS DE INVESTIGADORES JÚNIOR EN PATRIMONIO

Ge-conservación
Conservação | Conservation

Jornadas JIP - 2, 3 y 4 de abril de 2025

Recomendaciones para la eliminación de depósitos calcáreos en cerámica arqueológica

Águeda Sáenz Martínez

Resumen: Desde los años setenta, la eliminación de depósitos calcáreos en cerámicas ha sido una de las intervenciones más habituales en la Conservación – Restauración (CR) en Arqueología. Estos tratamientos suelen implicar un producto químico, para reducir la dureza de los depósitos, que después son eliminados mecánicamente. Estos procedimientos siguen vigentes, a pesar de que ya desde finales de la década de los 90 se demostró que provocaban graves daños en las piezas afectadas, como modificaciones en su composición y daños físicos superficiales. Este fue el inicio de una investigación llevada a cabo con el objetivo de establecer la eficacia y seguridad de estos tratamientos, incluyendo métodos de aplicación directos, como la inmersión, e indirectos, como los geles físicos y químicos. Este trabajo contiene una serie de recomendaciones prácticas derivadas de los resultados de la investigación, con la finalidad de acercarlos a la comunidad de la CR y optimizar estas intervenciones.

Palabras clave: depósitos superficiales, inmersión, geles físicos, geles químicos, ácido acético, ácido nítrico, EDTA, conservación

Recommendations for the removal of calcareous deposits on archaeological ceramics

Abstract: Since the 1970s, the removal of calcareous deposits on ceramics has been one of the most common interventions in Conservation-Restoration (CR) in Archaeology. These treatments usually involve a chemical product to reduce the hardness of the deposits, which are then removed mechanically. These procedures are still in use, despite the fact that since the end of the 1990s it has been shown that they caused serious damage to the affected pieces: changes in their composition and physical surface damage. This was the starting point of a research carried out with the aim of assessing the efficacy and safety of these treatments, including direct application methods, such as immersion, and indirect ones, such as physical and chemical gels. This work contains a series of recommendations derived from the research results, with the aim of bringing them closer to the CR community and improving these interventions.

Keywords: surface deposits, immersion, physical gels, chemical gels, acetic acid, nitric acid, EDTA, conservation

Introducción

Los tratamientos para la eliminación de depósitos calcáreos en cerámica arqueológica constituyen una de las intervenciones más comunes. Este tipo de procedimiento implica la eliminación de material ajeno a las piezas que interfiere tanto con sus valores estéticos como con su interpretación. No obstante, es una intervención compleja debido al riesgo de dañar el material cerámico original y a su carácter irreversible (Caple 2000). Por este motivo, no debe realizarse si se considera que dichos depósitos aportan valor a las piezas al contener, por ejemplo, información relevante para su estudio (Buys y Oakley 1993: 84).

Aunque la eliminación con medios mecánicos pueda resultar a priori más sencilla, su alta dureza dificulta en gran

medida su eliminación. Además, resulta muy complejo controlar estos tratamientos sin dañar la superficie de las piezas intervenidas, especialmente en cerámicas cuyas pastas presentan baja cohesión (Berduco 1990: 30). Para minimizar estos riesgos, se ha optado en muchos casos por combinar la acción mecánica con una acción química previa que disminuya la dureza de los depósitos, facilitando su posterior eliminación con medios mecánicos como bisturís, escalpelos o vibroincisores.

La acción química que reblandece los depósitos calcáreos se basa en la transformación del carbonato cálcico, una sal insoluble, en compuestos solubles (Berduco 1990:101). Los productos más utilizados son los ácidos y los agentes quelantes, aunque también se usan mezclas como la papeta AB-57 y la pasta mora. Más recientemente

se han incorporado otros productos como las resinas de intercambio iónico y el dióxido de carbono (CO_2), pero no se usan de forma sistemática (Coladonato et al. 2013; Carrascosa Moliner 2009: 92; Casaletto et al. 2008; Fernández Ibáñez 2003; Osa Pons 2003). Respecto a las concentraciones de estos productos no existe un consenso claro. Aunque en la actualidad se aboga por concentraciones más bajas del 3 al 10 %, tradicionalmente se usaban concentraciones más altas, entre un 10 y un 20 %, tanto de manera directa por inmersión como mediante aplicación indirecta (Carrascosa Moliner 2009: 97). A pesar de su alta eficacia, el principal inconveniente de estos productos es su falta de especificidad, ya que tanto pueden reaccionar con el carbonato cálcico de los depósitos como con el que presentan las pastas cerámicas en su composición original, lo que implica un riesgo potencial para su conservación. Incluso en piezas con bajo contenido en carbonato de calcio, la efervescencia generada por la reacción con los productos ácidos puede provocar un efecto abrasivo en las superficies intervenidas (Buys y Oakley 1993: 22). Este fenómeno ha sido corroborado por diversas investigaciones utilizando disoluciones de ácido clorhídrico, ácido acético y ácido nítrico (HCl , HCH_3COO y HNO_3 , respectivamente) a concentraciones entre 2,5 y 5 % v/v (Sáenz Martínez et al. 2024; Sáenz-Martínez et al. 2021; Johnson et al. 1995). Por otro lado, la acción de los agentes quelantes consiste en la formación de complejos estables con iones metálicos, siendo una intervención menos drástica y más fácil de controlar que la de los ácidos, por lo que pueden aplicarse con una mayor seguridad en lo que respecta a las piezas cerámicas. Los productos más utilizados incluyen el hexametáfosfato de sodio (Calgón) y las sales sódicas (mono-, di-, tri- o tetrasódica) del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) (Berduco 1990: 101). En cuanto a los métodos de aplicación, la forma más sencilla y directa es la inmersión, frente a los métodos indirectos como las papetas, los agentes espesantes (agar, goma xantano, etc.) y los geles químicos. Algunas recomendaciones indican un tiempo de aplicación de entre 5 y 60 minutos, aunque dependerá del producto, método de aplicación y de las características del depósito a eliminar, atendiendo especialmente a su composición y dureza (Carrascosa Moliner 2009: 97).

A pesar de que desde hace tiempo se recomienda restringir el uso de estos productos por los riesgos que implican tanto para las piezas como para los profesionales que los manipulan, su utilización sigue siendo habitual en instituciones y centros vinculados a la conservación arqueológica, tales como excavaciones, centros de investigación y museos. No obstante, diversos estudios han puesto de manifiesto la lixiviación de elementos esenciales en las pastas cerámicas como consecuencia del uso de productos ácidos en sus tratamientos (Hidayat Aprilita et al. 2014; Harrison 2008; Johnson et al. 1995; Olive y Pearson 1975). Mientras que otros estudios han revelado buenos resultados en cuanto a eficacia y seguridad con disoluciones de la sal tetrasódica del EDTA (2 % m/v) combinada con un tensoactivo (Fernández y Seva 2003; Gibson 1971).

Teniendo todo lo anterior en cuenta, se desarrolló una investigación en el marco de la tesis doctoral "Diseño y evaluación de tratamientos tradicionales y novedosos para la eliminación de depósitos calcáreos en cerámica arqueológica" (Sáenz Martínez 2022) para determinar la eficacia y la seguridad de varios tratamientos mixtos. La propuesta incluía dos productos ácidos (ácido acético y ácido nítrico) y un agente quelante (sal tetrasódica del ácido EDTA), aplicados por inmersión, gel físico y geles químicos. Esto permitió evaluar las diferencias entre productos y métodos de aplicación. Además, se siguió una metodología multianalítica para la obtención de datos sobre la composición química, mineralógica y de las propiedades físico-hídricas de las piezas intervenidas, teniendo así una visión amplia de los cambios que pudieran ocurrir. Los tratamientos diseñados fueron puestos a prueba tanto en material cerámico elaborado para la investigación, como en fragmentos arqueológicos procedentes del yacimiento de Guarrazar (Toledo). Basándose en los resultados de dicha investigación, se han formulado una serie de recomendaciones prácticas, recogidas en esta publicación, cuyo propósito es facilitar la implementación de estos tratamientos en casos reales, favoreciendo así la transferencia al ámbito de la CR.

Materiales y metodología

— Metodología de la investigación

La investigación partió de la revisión de la bibliografía especializada, seguida de una primera fase experimental con maquetas de cerámica simulando piezas arqueológicas con depósitos calcáreos y de una segunda fase realizada sobre fragmentos arqueológicos. En ambas se caracterizaron las muestras desde una perspectiva multianalítica, es decir, combinando diferentes técnicas para determinar posibles cambios en la composición química, mineralógica, así como en las propiedades físico-hídricas (color, rugosidad superficial y porosidad abierta) (Sáenz-Martínez 2022).

Con el objetivo de garantizar o facilitar la implementación de los tratamientos diseñados, se establecieron una serie de criterios para optimizar los recursos, disminuir el riesgo de las intervenciones e incrementar la sostenibilidad. Estos criterios incluyeron: mínima concentración del producto, mínimo tiempo de tratamiento, pH constante, mínima intervención de medios mecánicos y sencillez (AENOR 2009a, b, c).

— Preparación de las disoluciones

Las preparaciones se realizaron a partir de los productos comerciales del ácido acético 96 % v/v, del ácido nítrico 65 % v/v y del agente quelante sal tetrasódica del ácido etilendiamintetraacético 4-hidrato (EDTA) puro (PanReac AppliChem). Siguiendo el criterio de mínima concentración, se prepararon las disoluciones de dichos productos a una concentración de 1 % v/v para el ácido acético (pH = 2,5) y el ácido nítrico (pH = 0,5) y de 1 % m/v para el agente quelante (pH = 10,9) en agua desionizada y a temperatura ambiente

(20 - 25 °C), con agitación en el caso del agente quelante. De no poder adquirir agua desionizada, esta podría sustituirse por agua destilada.

— Preparación del gel de goma xantano

El gel de goma xantano se preparó a partir del producto comercializado como Vanzan NF-C® (CTSEspaña S.L.). La preparación también se realizó a temperatura ambiente (20 - 25 °C) y con agitación constante, a medida que se iba añadiendo el producto en polvo a la disolución acuosa a espesar. Para que la mezcla adquiriera una consistencia adecuada para los tratamientos, se recomienda la adición del 2 % m/v, de la goma xantano respecto a la disolución. Tanto las disoluciones no espesadas como las espesadas de cada producto deben presentar un pH similar, por lo que se recomienda comprobar su valor antes de llevar a cabo los tratamientos. Aunque las disoluciones del ácido nítrico y del agente quelante no presentaron variaciones significativas al añadir la goma xantano, en el caso del ácido acético fue necesario aumentar su concentración hasta un 10 % v/v para obtener valores de pH similares en la mezcla espesada.

— Preparación del gel de acción mecánica

El gel de acción mecánica o *peelable* está formado por una red de polivinil alcohol (PVA), agua y plastificantes. Para su elaboración se prepara una dispersión polimérica de PVA 87-89 % hidrolizado en agua desionizada (1:3 m/m) a 90 °C durante 2 horas, en un matraz de tres bocas con un condensador para evitar la evaporación durante el calentamiento. Cuando el polímero se ha solubilizado, se reduce la temperatura hasta 70 °C y se añaden los plastificantes (Guaragnone et al. 2020). Tras 30 minutos se agrega etanol (17 % m/m) y la mezcla final se somete a agitación por ultrasonidos durante 1 hora a 55 °C, hasta obtener una dispersión transparente. La agitación a 150 rpm con una paleta es necesaria para garantizar la correcta homogeneización de la mezcla (Sáenz-Martínez 2022; Parisi et al. 2018).

— Preparación de los geles químicos

Los geles químicos seleccionados en la investigación se comercializan como Nanorestore Gel® (CSGI), concretamente el gel *Medium Water Retention*®, de la categoría *dry*, y el gel *Peggy 5*®. Ambos son geles acuosos, por lo que se adquieren cargados con agua. En el caso de querer utilizar otros productos, será necesario cargarlos por inmersión en dichas disoluciones durante un tiempo determinado, dependiendo del objetivo de la intervención y del material a eliminar.

Recomendaciones

— Consideraciones previas

Antes de afrontar la intervención de cualquier pieza de cerámica arqueológica es necesario tener en cuenta una serie

de aspectos que permitirán que el tratamiento se ajuste lo máximo posible a su estado de conservación. En primer lugar, la consistencia de las pastas va a aportar información acerca de su estado de conservación y también de la temperatura de cocción de las piezas (Buys y Oakley 1993: 84). A partir de un examen organoléptico de los objetos se puede obtener mucha información. Por otro lado, la porosidad de las piezas va a ser una variable relevante a la hora de elegir los productos y el método de aplicación. Una opción accesible es la observación de un corte transversal de la pieza cerámica en microscopía óptica. Si los poros son grandes, será posible apreciarlos a bajos aumentos (entre 8x y 40x) en equipos relativamente sencillos y asequibles. No obstante, si no fuera posible distinguir el tamaño de los poros, lo mejor sería decantarse por la opción menos invasiva respecto al método de aplicación. También será necesario tener en cuenta la presencia de posibles tratamientos superficiales y su estado de conservación, por ejemplo, decoración pintada o vidriada, así como la presencia de huellas de uso o pátinas superficiales.

— Limpieza superficial en seco

En esta fase se pretende eliminar todo el material suelto que se encuentre sobre la superficie de la cerámica, incluyendo: restos de tierra, pequeñas piedras, restos orgánicos (raíces, hojas) y/o restos de insectos. Se llevará a cabo una limpieza mecánica suave con pinceles, brochas y palitos de madera de naranjo con punta roma. Se evitará y limitará el uso de herramientas más invasivas como escalpelo, bisturí o vibroincisor, ya que el tratamiento químico facilitará su posterior eliminación con herramientas más respetuosas.

— Eliminación de depósitos calcáreos

La eliminación de depósitos calcáreos superficiales se realizará preferentemente mediante un tratamiento mixto, combinando una acción con productos químicos para disminuir la dureza de las concreciones para, posteriormente, eliminarlas de manera mecánica con medios poco invasivos, como palitos de madera de naranjo o herramientas similares.

— Intervención con productos químicos

Aunque hay un gran abanico de productos químicos recomendados y formulados para eliminar depósitos calcáreos, a partir de la investigación realizada se proponen dos tipos por su eficacia y también la simplicidad, al no ser necesario combinar varios. Se recomienda el uso de agentes quelantes y ácidos, de los cuales se priorizarán los agentes quelantes (como las sales del ácido etilendiaminotetraacético, EDTA) ya que la reacción entre los ácidos y el carbonato cálcico de los depósitos genera una efervescencia procedente del dióxido de carbono (CO₂) liberado que puede dañar las capas más superficiales de las cerámicas, especialmente si presentan baja consistencia o temperaturas bajas de cocción o decoración pintada o vidriada. En lo que respecta

a la concentración de los productos, según los resultados obtenidos en la investigación, bajas concentraciones son suficientes para obtener una alta eficacia de limpieza: ej. ácido acético/nítrico 1 % v/v; agente quelante Na₄EDTA 1 % m/v.

— Métodos de aplicación

Se propone el uso de tres métodos de aplicación – inmersión, gel físico y geles químicos – según ciertas características de las piezas a intervenir, tales como la consistencia, el tratamiento superficial que presentan y si tienen o no decoración pintada o pátinas.

• Inmersión

La inmersión de las piezas en diluciones de los productos elegidos se aplicará siempre y cuando presenten alta consistencia, superficie espatulada o bruñida y no tengan decoración superficial pintada ni pátinas o huellas de uso (carbón, restos de alimentos, etc.).

De manera previa a la intervención se llevará a cabo la saturación de poros por inmersión en agua desionizada/destilada para evitar una acción excesiva de la intervención. Si el tamaño de la pieza no permitiera su inmersión completa, la intervención se realizaría por partes, tanto para la saturación de poros como para la posterior inmersión en el producto químico seleccionado. La ratio de la masa de la pieza y el producto químico elegido será de 1:15 mg/mL aproximadamente. Los tiempos de aplicación van a diferir dependiendo del producto elegido, siendo más bajos en el caso de los ácidos [Tabla 1]. Entre cada inmersión (o aplicación, AP), se realizará una prueba de limpieza mecánica con palitos de madera o similar para eliminar la parte del depósito que se haya reblandecido sin peligro de dañar la superficie cerámica. Si la dureza no hubiera disminuido, se repetiría la inmersión tantas veces como fuera necesario. La saturación de los poros se confirma por la ausencia de burbujas de aire en el agua.

Tiempos de aplicación	1ª AP	2ª/ 3ª... AP
Productos ácidos	30' + AM	10' + AM
Productos básicos		30' + AM

Tabla 1.- Tiempos de aplicación (AP) para los tratamientos por inmersión en productos ácidos y básicos. AM: acción mecánica con palitos de madera o herramientas similares.

• Gel de acción mecánica

En cerámicas con alta consistencia y sin aparente decoración ni pátinas, se puede aplicar también un gel de acción mecánica basado en una red de polivinil alcohol (PVA), agua y plastificantes. Este tipo de geles sustituye la limpieza mecánica manual realizada comúnmente con otras herramientas más invasivas (Carrascosa Moliner 2009: 80-

84), evitando así daños derivados de una limpieza excesiva o poco controlada. Aunque no se comercializa, se puede reproducir siguiendo un protocolo descrito en la bibliografía (ver Materiales y metodología). Una vez preparado, se aplica con espátula de manera homogénea sobre los depósitos calcáreos a eliminar en una capa de menos de 5 mm de grosor. A continuación, se espera hasta su secado, entre 1-4 horas en condiciones normales (20 °C). El secado del gel conlleva una ligera contracción que favorece la extracción de los depósitos calcáreos, como si se tratara de un *strappo*. Su eliminación se realizará con una pinza, desde una esquina que permita el agarre de la película generada por el gel y tirando en dirección opuesta. Este gel de acción mecánica solo se aplicará sobre los depósitos calcáreos, ya que si entrara en contacto directo con las superficies cerámicas supondría la pérdida de material original, además de un cambio en su color.

• Gel físico

Si las piezas a intervenir presentan una consistencia media, superficie espatulada o bruñida y decoración pintada cocida, se deberán intervenir con un gel físico. Se recomienda el uso de la goma xantano comercializada como Vanzan NF-C® (CTS España). Su preparación es sencilla, sin necesidad de añadir temperatura a la mezcla, y presenta una alta estabilidad en un amplio rango de pH entre 2 y 12, lo que permite su uso tanto para productos ácidos como básicos. Dada la posibilidad de que tras la aplicación del gel queden residuos en las superficies cerámicas (Stulik 2004), se recomienda el uso de papel japonés (60 g/m²) como material de barrera.

Con el objetivo de favorecer la actuación de los medios químicos, se procederá a la humectación de los depósitos calcáreos de manera previa al tratamiento, permitiendo la adhesión del papel japonés contribuyendo así a la difusión del producto. Se llevará a cabo aplicando agua desionizada/destilada con un pincel sobre las áreas a intervenir, evitando las superficies cerámicas expuestas. El gel ya preparado (ver Materiales y metodología) se aplicará de manera homogénea con una espátula generando una capa de aproximadamente 5 mm de espesor. Preferiblemente, se recubrirán con un plástico *film* o similar para ralentizar la evaporación del producto y el secado del gel [Figura 1]. Los tiempos de aplicación coinciden con los seguidos para la inmersión [Tabla 1]. Igual que en la inmersión, tras cada aplicación se comprobará si el depósito puede ser eliminado por medios mecánicos sin ejercer apenas presión (palitos de madera). De no ser así, se repetirá el tratamiento tantas veces como fuera necesario. En el caso de que la intervención mecánica sea heterogénea, dejando las superficies cerámicas parcialmente expuestas, las sucesivas aplicaciones del gel se limitarán a los depósitos calcáreos remanentes.

Al finalizar cada aplicación, se retirará el plástico *film* con pinzas y, a continuación, el papel japonés, que se llevará consigo el gel. Si incluso con la aplicación del papel japonés como elemento de barrera se identifican restos de los geles, se pueden eliminar mecánicamente con un hisopo ligeramente humedecido con agua desionizada/destilada.

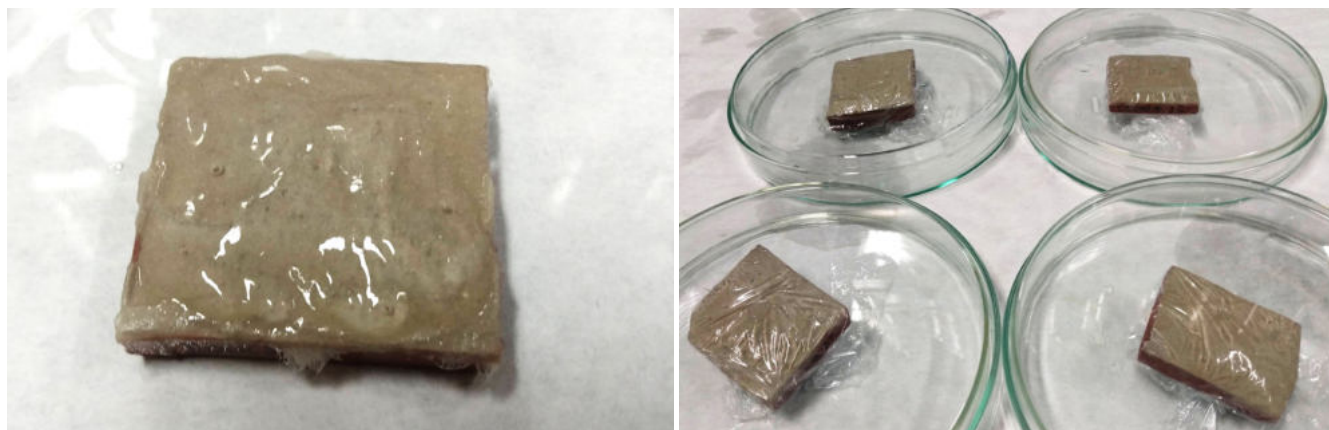


Figura 1.- Gel de goma xantano aplicado sobre depósitos calcáreos en maquetas cerámicas.

• Geles químicos

En el caso de afrontar la intervención de piezas cerámicas con baja consistencia, sin tratamiento superficial y con decoración pintada sin cocer y huellas de uso o pátinas, es decir, actuaciones comprometidas, se recomienda el uso de geles químicos comercializados como *Nanorestore Gel*® (CSGI), concretamente el gel *Medium Water Retention*® para superficies más sensibles a tratamientos acuosos, y el gel *Peggy 5*® para superficies menos sensibles, ambos en formato de lámina. Aunque debido a su coste, su uso se limitaría principalmente a intervenciones puntuales, la posibilidad de utilizar el reverso de los geles después de una aplicación permite ampliar su aplicabilidad a mayores superficies.

Ambas formulaciones deberán ser previamente cargadas con los productos seleccionados (ver Materiales y metodología). A continuación, se cortarán siguiendo las formas de los depósitos a eliminar y se colocarán con unas pinzas evitando que entren en contacto directo con las superficies cerámicas. Igual que en el caso de los geles físicos, los geles químicos también se recomienda recubrirlos con un plástico *film* o similar para ralentizar la evaporación del producto y el secado del gel, ya de por sí controlada. Los tiempos de carga y aplicación van a depender del número de la aplicación, siendo más prolongadas en las primeras, ya que conforme se elimina material de los depósitos calcáreos, aumenta la exposición de las superficies cerámicas a los productos químicos elegidos [Tabla 2]. Tras cada aplicación se comprobará la acción del tratamiento mecánicamente hasta que la dureza de los depósitos calcáreos haya disminuido permitiendo su eliminación sin ejercer apenas presión.

	1ª AP Carga 120'	2ª AP Carga 60'	3ª AP Carga 60'	[4ª AP Carga 60']
Productos ácidos	60'+AM+V+60'+AM	60'+V+60'	[60'+V+60']	[60'+V+60']
Productos básicos	60'+AM+V+120'+AM	60'+V+60'	60'+V+60'	[60'+V+60']

Tabla 2.- Tiempos de carga y aplicación (AP) para los tratamientos con geles químicos. AM: acción mecánica con palitos de madera o herramientas similares. V: aplicación del reverso. [...]: solo si se considera necesario

Eliminación de veladuras calcáreas

Una vez retiradas las capas más superficiales de los depósitos calcáreos es común afrontar la eliminación de veladuras calcáreas residuales que, de ser intervenidas mecánicamente, podría ponerse en riesgo la conservación de las superficies cerámicas. Para estos casos, se han adaptado algunas de las intervenciones previamente comentadas para la eliminación de los depósitos, dado que la acción debe ser más respetuosa con las superficies. Estos tratamientos incluyen el uso del gel químico *Peggy 5*® en formato lámina, lápiz y goma. La aplicación en formato lámina se realizará igual que en el caso de los depósitos calcáreos, pero con tiempos de carga y aplicación más bajos [Tabla 3].

Tiempos de carga y aplicación	<i>Peggy 5</i> ® 1ª AP Carga 30'
Ácido acético	30' + V + 15'

Tabla 3.- Tiempos de carga y aplicación (AP) para la eliminación de veladuras calcáreas con el gel químico *Peggy 5*® cargado con ácido acético. V: aplicación del reverso.

Los formatos lápiz (L) y goma (G) del gel *Peggy 5*® permiten realizar una acción más puntual y, por lo tanto, más controlada de la eliminación de veladuras. Igual que con el formato tipo lámina, es necesario cargarlos con los productos químicos seleccionados previamente a su aplicación. Esta difiere de las anteriores en que su acción radica en arrastrar tanto el lápiz como la goma repetidamente sobre las veladuras, de manera similar a una goma de borrar [Tabla 4].

Tiempos de carga y aplicación	<i>Peggy 5</i> ® L/G 1ª AP Carga 120'	<i>Peggy 5</i> ® L/G 2ª AP Carga 60'
Ácido acético	20 repeticiones	10 repeticiones
Sal tetrasódica del ácido EDTA		

Tabla 4.- Tiempos de carga y aplicación (AP) para la eliminación de veladuras calcáreas con el gel químico *Peggy 5*® cargado con ácido acético. L: Gel *Peggy 5*® en formato lápiz. G: Gel *Peggy 5*® en formato goma.

Eliminación de sales solubles y otros residuos

Como producto de las reacciones químicas ocurridas entre las disoluciones utilizadas y el carbonato de calcio contenido en los depósitos calcáreos, aparecen distintas sales que pueden degradar a largo plazo las cerámicas, según su porosidad. Estas sales incluyen el acetato de calcio (procedente de la reacción con el ácido acético), el nitrato de calcio (resultado de la reacción con el ácido nítrico) y el carbonato de sodio (procedente de la sal tetrasódica del ácido EDTA). Con el objetivo de limitar sus posibles efectos a corto, medio y largo plazo es necesario llevar a cabo su eliminación. El tratamiento dependerá del método de aplicación utilizado para la eliminación de los depósitos calcáreos. De este modo, tras una intervención por inmersión, las sales solubles se eliminarán también por inmersión, mientras que tras un tratamiento aplicado por métodos indirectos (gel físico o geles químicos) dicha eliminación se realizará con el gel químico *Peggy 5*®.

La ratio del volumen de agua desionizada/destilada será de aproximadamente de 1:15 mg/mL (Unruh 2001). El seguimiento del proceso por inmersión deberá incluir medidas de la conductividad (K) con un conductímetro de mano, con una precisión de 0,1 μS . Se tomarán datos del agua utilizada para la eliminación de los residuos tras haber transcurrido 0, 5, 15, 30, 60, 120, 180 minutos (+ 60' + 60' etc.) desde la introducción de las piezas intervenidas. Para determinar el final del tratamiento, se utilizará la variable K_{norm} (Unruh 2001; White *et al.* 2010), que tiene en cuenta la variación en la conductividad respecto al volumen del agua utilizado, al tiempo y a la masa de la pieza [ecuación 1] [Tabla 5]. En el caso de la inmersión, las medidas se harán directamente en el agua utilizada, tras haber extraído la pieza antes de realizar cada medida, volviendo a introducirla para continuar con el procedimiento. Mientras que en el caso del gel *Peggy 5*®, las medidas se tomarán de manera indirecta, es decir, se colocará el gel sobre la superficie cerámica y una vez transcurrido el tiempo previamente establecido, se retirará y se introducirá en el volumen de agua desionizada/destilada según la ratio 1:15 mg/mL (masa de la pieza/ volumen de agua). Se esperará un par de minutos para medir la conductividad comprobando que el valor sea estable. Las siguientes medidas se realizarán en la misma agua, en línea con la metodología seguida con las piezas intervenidas por inmersión. Este tratamiento finalizará cuando el valor de K_{norm} sea igual o menor que 2 (White *et al.* 2010). Si se considera necesario, se podrá repetir el procedimiento siguiendo los mismos pasos tras renovar el volumen de agua desionizada/destilada. Dado que los geles ya se comercializan cargados con agua, no sería necesario realizar otra carga, aunque se podría hacer mediante una inmersión de 30 minutos en agua desionizada/destilada. Una vez terminado el tratamiento de desalación, estos geles no se podrán reutilizar. Además, una vez iniciado el tratamiento se recomienda finalizarlo ya que, si no se extraen todas las sales solubles de las piezas intervenidas y estas se dejan secar, seguramente se produzcan eflorescencias que podrían dañar las piezas.

$$K_{\text{norm}} = (\Delta K \times L) / (\Delta t \times g)$$

Ecuación 1.- Fórmula de la variable K_{norm} utilizada para establecer el punto final del proceso de eliminación de residuos tras los

tratamientos de limpieza. Donde K es la conductividad (μS); L el volumen del agua utilizada en litros; t es el tiempo transcurrido desde el inicio del proceso en días; y g la masa de la pieza en gramos. La variación Δ de K y t se calcula mediante la diferencia del valor final y el valor inicial.

	Peso de la cerámica (g)	Volumen de agua (L)	Conductividad K (μS)	ΔK (μS)	Tiempo t (min)	Δt (min)	Δt (días)	K_{norm}
1	36,00	0,50	1,1	1,1	0	0	0,000000	0,00
2	36,00	0,50	3,5	2,4	5	5	0,003472	9,60
3	36,00	0,50	4,8	1,3	15	10	0,006944	2,60
4	36,00	0,50	7,2	2,4	30	15	0,010417	3,20
5	36,00	0,50	8,5	1,3	60	30	0,020833	0,87

Tabla 5.- Ejemplo de un tratamiento de eliminación de sales a partir de 5 medidas de la conductividad y el cálculo de la variable K_{norm} . La variación (Δ) de K y t se calcula mediante la diferencia del valor final y el valor inicial: $\Delta K (\mu\text{S}) = K (\mu\text{S})_2 - K (\mu\text{S})_1$; $\Delta t (\text{min}) = t (\text{min})_2 - t (\text{min})_1$. La variación del tiempo en días se realiza a partir de la $\Delta t (\text{min})$: $\Delta t (\text{días}) = \Delta t (\text{min}) / 1440$.

Conservación preventiva y seguimiento de los tratamientos

La conservación de las cerámicas arqueológicas intervenidas va más allá de los tratamientos, ya que las condiciones ambientales son clave para su preservación a medio y largo plazo. En general, es crucial que las variables de humedad relativa, temperatura y radiación sean estables y adecuadas [Tabla 6], con mínimas variaciones, ya que un estrés constante y mantenido en el tiempo puede suponer la aparición de eflorescencias salinas, así como grietas en piezas con un estado de conservación comprometido (Michalski 2009b).

Además de unas condiciones ambientales adecuadas y estables, es crucial realizar un seguimiento de posibles cambios superficiales en las cerámicas intervenidas, tales como manchas, velos blanquecinos de eflorescencias salinas, cambios en la consistencia de las pastas, aparición de grietas, etc. Una herramienta interesante para realizar dicho seguimiento podría ser la colorimetría, gracias a que la toma de medidas es sencilla, así como la interpretación de los datos. Al finalizar la intervención se podría llevar a cabo un análisis del color y repetir el procedimiento cada cierto tiempo o cuando a simple vista se observen cambios significativos, para corroborarlos.

	Piezas intervenidas	Piezas con sales solubles	Piezas estables/poco sensibles
Humedad relativa, HR (%)	30 – 45	20 – 40	30 – 60
Luz visible (lux)	50 – 150	50 – 150	300
Luz ultravioleta (μW /lumen)	70	70	70
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	20 – 25	20 – 25	20 – 25

Tabla 6.- Condiciones ambientales recomendadas para la conservación de cerámica (Berducou 1990; Carrascosa Moliner 2009; 215; Michalski 2009a y 2009b).

Conclusiones

A partir de un proyecto de investigación basado en una metodología científica fundamentada en una perspectiva multianalítica, se han desarrollado una serie de recomendaciones para eliminar depósitos calcáreos de cerámicas arqueológicas. Para su desarrollo se ha tenido en cuenta la dificultad de su preparación, la cantidad de productos necesarios y su concentración, tendiendo en todos los casos a simplificar dichas variables. También se ha tenido en cuenta el coste y la infraestructura necesaria. A pesar de su demostrada eficacia, dichas recomendaciones deberán probarse en el material a intervenir antes de ser aplicadas de manera sistemática, igual que cualquier otro tratamiento de conservación. Asimismo, es posible que sea necesario realizar adaptaciones de las mismas, ya que cada caso de estudio e intervención es único. Aun así, las recomendaciones previamente desarrolladas suponen una mejora respecto a los tratamientos aconsejados en la bibliografía, dada la gran variabilidad detectada.

Agradecimientos

La autora agradece el apoyo del programa de investigación Top-Heritage-CM (S2018/NMT-4372), de las plataformas temáticas interdisciplinarias PTI-PAIS (CSIC) y del Center for Colloid and Surface Science (CSGI), de la Universidad de Florencia. También da las gracias a los Centros de Apoyo a la Investigación de Técnicas Geológicas (UCM), Difracción de Rayos X (UCM), Fluorescencia de Rayos X (UCM y UGR), a la Fundación Palarq (PR2004_19/02) y a los grupos de investigación Documentación, Conservación y Restauración del Patrimonio cultural (UCM-930420) y Petrología Aplicada a la Conservación del Patrimonio (UCM-921349). Agradece también a la Universidad Complutense de Madrid y el Banco Santander por su contrato predoctoral (CT17/17-CT18/17), así como al Ministerio de Ciencia e Innovación por la beca para estudiantes de postgrado en La Residencia de Estudiantes (2020-2021). Asimismo, agradece la supervisión de las Dras. Margarita San Andrés, Mónica Álvarez de Buergo y Marta Pérez Estébanez.

Referencias

- AENOR. (2009a). UNE 41806-1 IN Conservación de edificios Limpieza de elementos constructivos. Parte 1: Clasificación de los métodos de limpieza.
- AENOR. (2009b). UNE 41806-5-1 IN Conservación de edificios Limpieza de elementos constructivos. Parte 5-1: Técnicas de limpieza química. Aplicación en forma de solución.
- AENOR. (2009c). UNE 41806-5-2 IN Conservación de edificios Limpieza de elementos constructivos. Parte 5-2: Técnicas de limpieza química. Aplicación en forma de apósitos.
- BERDUCOU, M.C. (1990). *La Conservation en archéologie: méthodes et pratique de la conservation-restauration des vestiges archéologiques*. Masson, Paris.
- BUYS, S., OAKLEY, V. (1993). *The conservation and restoration of ceramics*. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- CAPLE, C. (2000). *Conservation skills: judgement, method and decision making*. Routledge, London; New York.
- CARRASCOSA MOLINER, B. (2009). *La conservación y restauración de objetos cerámicos arqueológicos*. Tecnos, España.
- CASALETTO, M.P., INGO, G.M., RICCUCCI, C. et al. (2008). "Chemical cleaning of encrustations on archaeological ceramic artefacts found in different Italian sites". *Applied Physics A*, 92: 35–42. <https://doi.org/10.1007/s00339-008-4519-x>
- COLADONATO, M., DI ODOARDO, B., PRUNAS, E. (2013). "Removal of Calcareous Concretions from Natural and Manufactured Stone Archaeological Artefacts through the Use of CO₂ Water Solutions". *Procedia Chem* 8: 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2013.03.009>
- FERNÁNDEZ, C., SEVA, R. (2003). "Avance al análisis de un modelo de limpieza a base de álcalis para la cerámica arqueológica". *Sautuola: Revista del Instituto de Prehistoria y Arqueología*, 9: 471–482.
- FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. (2003). "Las sales y su incidencia en la conservación de la cerámica arqueológica". *Monte Buciero*, 9: 303–325.
- GIBSON, B.M. (1971). "Methods of Removing White and Black Deposits from Ancient Pottery". *Studies in Conservation* 16: 18:23 <https://doi.org/10.2307/1505515>
- GUARAGNONE, T., CASINI, A., CHELAZZI, D., & GIORGI, R. (2020). "PVA-based peelable films loaded with tetraethylenepentamine for the removal of corrosion products from bronze". *Applied Materials Today*, 19, 100549. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2019.100549>
- HARRISON, A. (2008). "Effects of Acid Treatment on Ceramics from Kaman-Kalehöyük". *Anatolian Archaeological Studies* 18: 271–280.
- HIDAYAT APRILITA, N., TRI WAHYUNI, E., MAHIRTA, et al. (2014). "Assessment of Chemical Dissolution Method for Conservation of Underwater Archaeological Ceramics". *American Journal of Applied Chemistry* 2 (5). <https://doi.org/10.11648/j.ajac.20140205.14>
- JOHNSON, J. S., ERICKSON, H.M., ICELAND, H. (1995). "Identification of Chemical and Physical Change During acid Cleaning of Ceramics". *MRS Proceedings* 352: 831–837. <https://doi.org/10.1557/PROC-352-831>
- MICHALSKI, S. (2009a). Luz visible, radiación ultravioleta e infrarroja. Roma: Centro Internacional de Estudios de Conservación y Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM). <https://www.cncr.gob.cl/noticias/agentes-de-deterioro-instituto-canadiense-de-conservacion-icc>. [consulta: 15/09/2025].

MICHALSKI, S. (2009b). *Temperatura incorrecta*. Roma: Centro Internacional de Estudios de Conservación y Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM) <https://www.cncr.gob.cl/noticias/agentes-de-deterioro-instituto-canadiense-de-conservacion-icc>. [consulta: 15/09/2025].

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA (2007). *Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales*. BOE núm. 260, de 30 de octubre de 2007, Madrid.

MORA, P., MORA, L., PHILIPPOT, P. (1984). *Conservation of wall paintings*. Butterworths, London.

OLIVE, J., PEARSON, C. (1975). "The conservation of ceramics from marine archaeological sources". *Studies in Conservation* 20: 63–68. <https://doi.org/10.1179/sic.1975.s1.011>

OSCA PONS, J. (2003). "Restauración de la decoración pictórica exterior de la Iglesia de San Roque en Oliva (Valencia)". *Restauración & Rehabilitación*, 75: 46–51.

PARISI, E. I., BONELLI, N., CARRETTI, E., GIORGI, R., INGO, G. M., & BAGLIONI, P. (2018). "Film forming PVA-based cleaning systems for the removal of corrosion products from historical bronzes". *Pure and Applied Chemistry*, 90(3): 507-522. <https://doi.org/10.1515/pac-2017-0204>

QUIROSA GARCÍA, V., GÓMEZ ROBLES, L. (2010). "El papel de la mujer en la conservación y transmisión del patrimonio cultural". *ASPARKÍA*, 21: 75–90.

SÁENZ MARTÍNEZ, Á., (2022). *Diseño y evaluación de tratamientos tradicionales y novedosos para la eliminación de depósitos calcáreos en cerámica arqueológica*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/4105>

SÁENZ MARTÍNEZ, Á., COLLADO MONTERO, F.J., CAPEL MARTÍNEZ, J. (2024). "Preliminary studies for the removal of carbonate deposits from painted ceramics using chemical solutions". *Conservar Património* 46: 7–21. <https://doi.org/10.14568/cp26050>

SÁENZ-MARTÍNEZ, Á., PÉREZ-ESTÉBANEZ, M., SAN ANDRÉS, M., et al. (2021). "Efficacy of acid treatments used in archaeological ceramics for the removal of calcareous deposits". *The European Physical Journal Plus* 136: 798. <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-021-01784-3>

STULIK, D., & DORGE, V. (2004). *Solvent gels for the cleaning of works of art: the residue question*. Getty Conservation Institute.

UNRUH, J. (2001). "A Revised Endpoint for Ceramics Desalination at the Archaeological Site of Gordion". *Studies in Conservation*, 46(2): 81-92. <https://doi.org/10.2307/1506839>

WHITE, C., POOL, M., & CARROLL, N. (2010). "Short Communication: A Revised Method to Calculate Desalination Rates and Improve Data Resolution". *Journal of the American Institute for Conservation*, 49(1): 45-52. <https://doi.org/10.1179/019713610804500564>

Autor/es



Águeda Sáenz Martínez

agueda.saenz@unizar.es

Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón (INMA), CSIC-Universidad de Zaragoza

<https://orcid.org/0000-0002-5929-7393>

Águeda Sáenz Martínez es Doctora en Bellas Artes por la Universidad Complutense de Madrid (2022), con Mención Internacional y Premio Extraordinario. Se formó en Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural (UCM, 2016) y Arqueología (Universidad de Granada, 2017). Desarrolló su tesis doctoral gracias a un contrato FPU de la UCM (2018-2022), periodo que incluyó una estancia en el Center for Colloid and Surface Science de la Universidad de Florencia (2021), y una beca del Ministerio de Ciencia e Innovación para estudiantes de postgrado en La Residencia de Estudiantes (2020-2021). Ha sido Profesora Ayudante Doctora en la Universidad de La Rioja (UR, 2023-2024) y en la actualidad continúa su trayectoria como investigadora posdoctoral en el Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón (INMA, 2024), dentro del grupo Bionanosurf, aunque mantiene su colaboración con el grupo Técnicas de documentación, conservación y restauración del patrimonio (UCM-930420). Su línea de investigación se centra en la evaluación de tratamientos de conservación mediante técnicas y metodología científicas. Ha participado en varios proyectos de investigación (2D-Hericare, TopHeritage, Geomateriales 2) y, recientemente, consiguió el primer premio en el concurso Materializa de la Cátedra SAMCA (2024) para el desarrollo del proyecto "GrafCoM – Sensor de Grafeno para el Control de la proliferación de Mohos en patrimonio cultural". También cuenta con una amplia y asidua participación en congresos y conferencias internacionales y nacionales, así como con publicaciones científicas en revistas como *Journal of Cultural Heritage*, *Conservar Património*, *European Physical Journal Plus* o *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*. Entre 2026 y 2028 llevará a cabo el proyecto CoNFine – *Conservation of built heritage: Natural Formulations against bio-deterioration*, financiado por el programa MSCA Postdoctoral Global Fellowships (2024) en el Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón (INMA) y la Universidad Autónoma de Campeche (UACAM).



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1439>



II JORNADAS DE INVESTIGADORES JÚNIOR EN PATRIMONIO

Ge-conservación
Conservação | Conservation

Jornadas JIP - 2, 3 y 4 de abril de 2025

Machine learning tools for the classification of visible reflectance spectra of inorganic pigments historically used in wall paintings

Jordi Cruz, Roberto Sáez-Hernández

Abstract: Three different classification methods applied to the field of Cultural Heritage are compared. Focusing on the non-invasive and *in situ* identification of historical inorganic pigments using visible reflectance spectroscopy, linear and non-linear classifiers are trained and evaluated (Partial Least Squares – Discriminant Analysis (PLS-DA), Support Vector Machine (SVM-DA), and Artificial Neural Networks (ANN-DA)). Three hues (yellow, blue and green) are considered with three pigments per hue: lead-tin yellow, yellow ochre, orpiment (yellow); celadonite, green malachite, Verona green (green); and Egyptian blue, azurite, and lapis lazuli (blue). All three classification methods yielded high prediction capabilities (above 94.2 % in the external validation sets), with high sensitivity and specificity (above 88 %). In cases where spectral features are more similar, PLS-DA performed slightly worse. However, SVM-DA and ANN-DA models were comparable in all instances, with global accuracies above 98.8 %, sensitivity above 88 %, and specificity above 98 %, respectively.

Keywords: artificial neural networks, classification, chemometrics, identification, partial least squares discriminant analysis, pigments, support vector machines, visible reflectance spectroscopy

Herramientas de Machine Learning para la clasificación de espectros visibles de reflectancia de pigmentos inorgánicos usados en pintura mural

Resumen: Centrándose en la identificación no invasiva e *in situ* de pigmentos históricos mediante espectroscopía de reflectancia visible, se entrenan y evalúan clasificadores lineales y no lineales (Partial Least Squares – Discriminant Analysis (PLS-DA), Support Vector Machine (SVM-DA), y Artificial Neural Networks (ANN-DA)) aplicados al Patrimonio Cultural. Se consideran tres tonalidades (amarillo, azul y verde), con tres pigmentos por tonalidad: amarillo plomo-estaño, ocre amarillo, orpimente (amarillo); celadonita, malaquita verde, verde Verona (verde); y azul egipcio, azurita y lapislázuli (azul). Los tres métodos arrojaron alta capacidad predictiva (> 94,2 % en validación), con sensibilidades y especificidades por encima del 88 %. En casos en los que las características espectrales son más similares, PLS-DA se comportó ligeramente peor. Sin embargo, los modelos SVM-DA y ANN-DA fueron en todos los casos comparables con precisiones globales superiores al 98,8 %, sensibilidad superior al 88 % y especificidad superior al 98 %, respectivamente.

Palabras clave: clasificación, espectroscopía de reflectancia visible, identificación, máquinas de vector soporte, mínimos cuadrados parciales, pigmentos, quimiometría, redes neuronales artificiales

Introduction

Studying inorganic pigments in Cultural Heritage is a well-established field (Melo et al. 2022). Pigment analysis serves multiple purposes: it supports conservation efforts by identifying degradation processes and guiding restoration strategies; it contributes to art historical research by revealing materials and techniques used by artists; and it plays a key role in authentication, helping to verify the origin and dating of artworks (Popelka-Filcoff 2020). In particular, applying analytical methodologies to their investigation has been one of the most prolific research areas regarding chemistry and Cultural Heritage. During

the development of these methodologies, the intrinsic characteristics of ancient samples have imposed some restrictions and conditions. For example, techniques need to be non-destructive (or, at least, minimally destructive) (Sáez-Hernández *et al.* 2022). Also, they must be portable, as some cases will not allow the sample to be taken to the laboratory, and must allow for *in situ* analysis (Muñoz 2023).

In this regard, some of the most commonly employed analytical techniques that have been applied are Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Raman spectroscopy, portable Energy Dispersive X-ray Fluorescence (XRF), or reflectance spectroscopy (Ricciardi

2012; Ricciardi 2013; Aceto 2014; Delaney 2014; Liu *et al.* 2024; Muñoz 2023). In the latter case, different techniques can be applied throughout the electromagnetic spectrum. For example, Short-Wave Infrared (SWIR), Near Infrared (NIR) or visible reflectance spectroscopy represent different alternatives that are able to characterise a sample according to its chemical composition. For the particular case of pigment studies, the visible range becomes particularly interesting, as it represents the pigments' behaviour for their main purpose: to show different colours. Consequently, these techniques have been applied in different case studies for investigating historical pigments, both using spot-wise techniques and hyperspectral or multispectral instrumentation (Cséfalvayová 2011; Wu 2016; Liu 2024).

All these techniques have in common being portable and non-invasive, thus being an adequate solution to the problem (Muñoz 2023; Liu 2024). The common approach to analytically investigate Cultural Heritage samples in general, and pigments in particular, involves a multianalytical approach. Combining all the aforementioned techniques enriches the result and adds robustness (Delaney 2014; Romani 2020).

For the specific case of ancient pigments, visible reflectance spectroscopy is of particular interest, given the fact that pigments do have distinct patterns in this region (Ricciardi 2013; Aceto 2014; Liu *et al.* 2024). As a consequence of electronic transitions, absorption bands are present in the range comprised between 400 and 720 nm. By characterizing these bands, it is possible to identify the chemical species behind them (Ricciardi 2012; Ricciardi 2013). Consequently, visible reflectance spectroscopy is commonly employed in the field of Cultural Heritage to identify pigments (Ricciardi 2013; Aceto 2014; Liu *et al.* 2024). To that end, the common approach is to compare the measured spectrum with a reference one, either measured by the researchers or present in the literature (Ricciardi 2012; Delaney 2014).

Implementing chemometrics in the analytical process can help make decisions by applying adequate data treatment and modelling (Musumarra and Fichera 1998; Pouyet *et al.* 2021; Yogurtcu *et al.* 2024). In particular, for the case of pigment identification, there exist diverse kinds of classifiers that permit the synthesis of the spectral information and provide an objective identification (Muehlethaler *et al.* 2016; Mandal *et al.* 2023; Yogurtcu *et al.* 2024). These methods require a prior training step often relying on mock up samples with known compositions, or the implementation of reference analytical techniques. These techniques allow to identify the chemical component in the pigment, so that the classifier algorithms can then model their characteristic features. Among others, Partial Least Squares – Discriminant Analysis (PLS-DA) linearly decomposes the original X matrix (corresponding to the spectra), into a set of new factors (called latent variables), which are then used to predict the class to which a sample

belongs, depending on its spectral features (Muehlethaler *et al.* 2016; Fan *et al.* 2018; Romani *et al.* 2020). In a more complex manner, non-linear methods like Support Vector Machines (SVM) and Artificial Neural Networks (ANN) arise as potential alternatives (Pouyet *et al.* 2021; Kastenholz *et al.* 2024; Yogurtcu *et al.* 2024). SVMs create boundaries among classes that separate them, which can be linear or non-linear by applying kernels such as the Radial Basis Function (Fan *et al.* 2018; Kastenholz *et al.* 2024). When it comes to Artificial Neural Networks (Mao *et al.* 2002), they arrange the spectral information as inputs to their architecture, transferring information among nodes by different transfer functions, and can be arranged in layers, increasing the sophistication of the model (Yogurtcu *et al.* 2024). In the case of ANN–Discriminant Analysis, the final output of the model is a class to which a sample belongs (Yogurtcu *et al.* 2024).

The goal of this article is to investigate the potential of adequate chemometric tools to objectively identify different inorganic pigments in the field of Cultural Heritage. A set of relevant historical pigments were applied in wall painting replicas, and subsequently measured using visible reflectance spectroscopy. The visible reflectance spectra were then treated and used to build qualitative identification models through different modelling strategies: PLS-DA, SVM-DA, and ANN-DA. The selection of these methods is further justified because PLS-DA offers robust linear discrimination in spectroscopic datasets, SVM effectively separates pigment classes with both linear and non-linear kernels, while ANN provides flexible modelling capable of capturing complex spectral relationships.

Materials and methods

— Mock-up preparation

Three different colour hues were selected for this investigation: yellow, blue, and green. Each of those hues was represented by three different inorganic pigments, selected based on their relevance in Cultural Heritage. All of these pigments were purchased from Kremer, and are summarised in Table 1.

The different replicas were prepared following the information described by Vitruvius in the *Ten Books of Architecture*, as well as prior research (Piovesan 2012). The replicas were prepared using ceramic tiles as supports. The ceramic surface was first soaked with water, and different layers of sand:lime were applied. First, a rough layer consisting of a 3:1 mixture of coarse sand:lime (weight proportion) was applied and left to dry. Subsequently, a second layer was applied using the same proportion, but in this case with fine sand. After being left to dry, lime layers were applied to the surface and mechanically flattened to obtain a white, homogeneous, flat surface. When it comes to the pigment application, they were implemented as

Hue	Pigment	Chemical formula	Kremer ref.
Yellow	Lead-tin yellow (Hradil 2007)	$Pb_{25}SnO_4$	#10120
	Yellow ochre (Montagner 2012)	$FeO(OH)$	#40301
	Orpiment (García-Bucio 2009)	As_2S_3	#10700
Green	Celadonite (Ortega 2011)	$K(Mg,Fe^{2+})Fe^{3+}(Si_4O_{10})(OH)_2$	#11250
	Green malachite (Cheilakou 2009)	$Cu_2(CO_3)(OH)_2$	#10344
	Verona green (Ortega 2011)	$KMgFe^{3+}Si_4O_{10}(OH)_2 +$	#11010
	(celadonite + glauconite)	$(K,Na)(Fe,Al,Mg)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$	
Blue	Egyptian blue (Bianchetti 2000)	$CaCuSi_4O_{10}$	#10060
	Azurite (Barbu 2021)	$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$	#10210
	Lapis lazuli (Fioretti 2023)	$Na_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2Na_2S$	#10510

Table 1. - Description of the pigments used in the study.

previously described in the literature (Sáez-Hernández *et al.* 2024): briefly, pigments were suspended in water and applied on the wet surface. Different pigments-to-water proportions were prepared to obtain a diverse colour palette. Then, the pigments and the surface were left to dry to obtain the result observed in Figure 1.



Figure 1. - Some of the samples obtained for the different pigments under investigation.

— Visible reflectance spectroscopy analysis

The pigments' colour was registered using a portable spectrophotometer from Konica Minolta (CM-26d), using the D65 reference illuminant, the Specular Component Excluded mode, and the 10° standard observer. Before the measurements, the reference white and black of the instrument were measured, and it was ensured that the CIELAB values were (100, 0, 0) and (0, 0, 0), respectively. The visible reflectance spectra were acquired in the 400 – 740 nm range, with 5 nm steps. To represent the colour across the whole area of the sample, each one of them was measured at three different spots (spot size: 8 mm), and the global spectrum for each sample was obtained as the average spectrum of the three replicates.

— Data treatment and analysis

The modelling and data treatment were carried out using PLS Toolbox and Solo. The visible reflectance spectral signals were used to build three different classification methods: Partial Least Squares – Discriminant Analysis (PLS-DA), Support Vector Machine – Discriminant Analysis (SVM-DA), and Artificial Neural Network – Discriminant Analysis (ANN-DA). There are many classification techniques available for spectral data analysis, including decision trees, random forests, k-nearest neighbours, soft independent modelling of class analogies (SIMCA), and various forms of clustering and deep learning models. While some of these methods have shown promising results in certain contexts, PLS-DA, SVM-DA, and ANN-DA were chosen for this study because they offer a good balance between interpretability, robustness, and the ability to handle complex data. The global dataset, composed of 507 individuals, or samples, was split into calibration and validation sets (CAL and VAL, subsequently), in a 66:33 proportion using the Duplex algorithm (Daszykowski *et al.* 2002). The models were then trained using the CAL set and internally cross-validated using Venetian Blinds (10 total splits, blind thickness of 1 sample). After finding the most adequate conditions in each case, the models were then tested and externally validated using the external VAL set. By means of this external validation, the models' robustness is assessed by predicting new samples, which helps diminish the presence of overfitting.

In all instances, the visible reflectance spectra were pre-processed using a first derivative (using the Savitzky-Golay filter: polynomial order 2, window width of 3 points). This technique, which has been successfully applied in the literature in reflectance spectroscopy studies (Radpour *et al.* 2022), allows to remove slight differences in the baselines among different spectra, and converts the typical S-shaped visible reflectance spectra into peaks. Subsequently, spectra were mean centred in the wavelengths' direction.

Results and discussion

The three different classification methods were applied to the dataset and compared in terms of their predictive

capacity. The results show an increasing degree of complexity, from a linear method to a non-linear one.

— Partial Least Squares – Discriminant Analysis (PLS-DA)

The models' number of LVs was selected so that it minimized the cross-validation error during the internal validation. Figure 2 shows the evolution of calibration and cross-validation classification error.

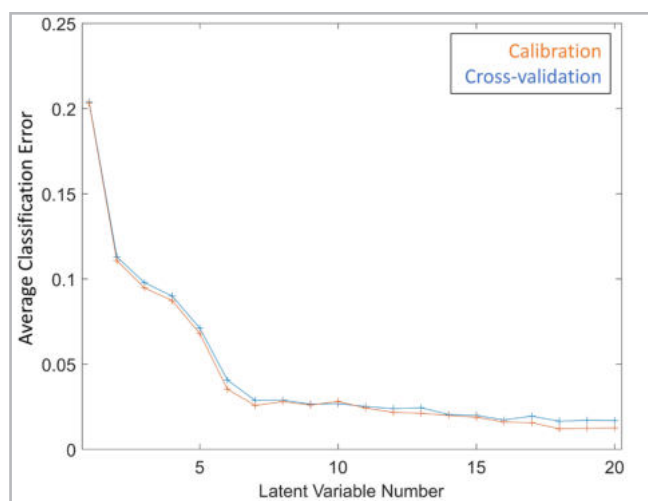


Figure 2.- Evolution of the average classification error during calibration (in orange) and cross-validation (in blue), as a function of the number of Latent Variables.

As can be seen, the model performance significantly increases as the number of Latent Variables increases. This improvement is more important when going from 6 to 7 factors. From this point, even though the error still decreases, that improvement is marginal and would come at the expense of unnecessary model complexity. Thus, seven factors were selected to build the PLS-DA model. Using these many factors, 99.4 % of the X matrix (spectra) variance was successfully explained.

Subsequently, the model was evaluated using the confusion matrix for the CAL and VAL sets. Results are summarised in Table 2. As observed, the models yielded satisfactory classifications for the nine investigated pigments. Overall, the accuracy of the model (the total correct classifications divided by the total possible cases) was 94.3 % for the CAL set and 94.2 % for the VAL set. This first result demonstrates how the approach works well for any of the classes and shows that no overfitting occurred (a model that is very well trained to predict itself but falls short when predicting new samples).

Analysing the VAL results in detail, the sensitivity (that is, the model's ability to correctly identify samples belonging to that class (Ballabio *et al.* 2013) was above 88 % in all

instances, and the specificity (that is, the model's ability to reject samples from each class (Ballabio *et al.* 2013) was above 92 %.

— Support Vector Machines – Discriminant Analysis (SVM-DA)

Next, SVM-DA was tested for classification purposes. In this case, the model was built with a Radial Basis Function as a kernel, and the cost and gamma parameters were set at 100 and 3.16, respectively. Results are synthesized in Table 3.

In this case, the global accuracy of the model was 98.5 % for the CAL set and 98.8 % for the VAL set. Regarding sensitivity and specificity, they were above 88 % and 99 % in all classes.

— Artificial Neural Network – Discriminant Analysis (ANN-DA)

Last, an ANN-DA was built using only one hidden layer containing four nodes, and trained using the backpropagation algorithm. Table 4 summarises the results for this model. Results for the ANN-DA yielded an overall classification success of 97.9 % for CAL and 98.8 % for VAL. When it comes to the sensitivity and specificity, they were 88% and 98 %, respectively.

— Method comparison

All three methods yielded successful classification results. Next, a comparison of the three models in terms of analytical results is presented. Figure 3 summarises the most relevant information for comparison purposes.

Based on these results, PLS-DA can be seen to generally perform worse than the other two methods (SVM-DA and ANN-DA). Generally, classification errors are higher for this technique both in cross-validation and external validation. This is probably due to its linear nature, which generates limitations in class modelling for cases with greater spectral similarities. For example, in the case of green pigments, it can be observed that more confusion exists among classes [Tables 2 – 4]. This generally results in higher prediction errors, but is more marked for PLS-DA. An in-depth analysis of the 1st-derivative spectra used for prediction [Figure 4] suggests that the spectral features of green malachite may not be as distinctive as for the other pigments. This could justify why this is the hue in which less global accuracy was found.

Addressing SMV-DA and ANN-DA, they performed better than PLS-DA in most cases, yielding lower prediction errors. This improvement can be attributed to the fact that both approaches include non-linearity, which allows them to model more subtle spectral differences. Comparing them, it can be seen that they have similar performances: in some instances, ANN-DA performs better (for example, for

Predicted class (pigment)	Real class (pigment)								
	Lead-tin yellow	Yellow ochre	Orpiment	Egyptian blue	Azurite	Lapis lazuli	Celadonite	Green malachite	Verona green
	Lead-tin yellow	18	0	0	0	0	0	0	0
		18	0	0	0	0	0	0	0
	Yellow ochre	0	28	0	0	0	0	0	0
		0	13	0	0	0	0	0	0
	Orpiment	1	0	26	0	0	0	0	0
		1	0	17	0	0	0	0	1
	Egyptian blue	0	0	0	46	0	0	0	0
		0	0	0	44	0	0	1	0
	Azurite	1	0	0	0	61	0	0	0
		0	0	0	0	19	0	0	0
	Lapis lazuli	0	0	0	0	0	58	0	0
		0	0	0	0	0	33	0	0
	Celadonite	0	0	0	0	0	0	21	2
		0	0	0	0	0	0	7	3
	Green malachite	0	0	0	0	9	0	5	27
		0	0	0	0	1	0	1	4
	Verona green	0	0	0	0	0	0	0	1
		0	0	0	0	0	0	2	7
	Sensitivity	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88
	Specificity	0,95	1,00	0,96	1,00	0,93	1,00	0,98	0,81
		0,93	1,00	0,92	1,00	0,97	1,00	0,96	0,95

Table 2.- Confusion matrix and classification parameters for the PLS-DA model during cross validation. In bold, the prediction results for the external validation.

Predicted class (pigment)	Real class (pigment)								
	Lead-tin yellow	Yellow ochre	Orpiment	Egyptian blue	Azurite	Lapis lazuli	Celadonite	Green malachite	Verona green
	Lead-tin yellow	19	0	0	0	0	0	0	0
		18	0	0	0	0	0	0	0
	Yellow ochre	0	28	0	0	0	0	0	0
		0	13	0	0	0	0	0	0
	Orpiment	0	0	26	0	0	0	0	0
		0	0	17	0	0	0	0	1
	Egyptian blue	0	0	0	46	0	0	0	0
		0	0	0	44	0	0	0	0
	Azurite	0	0	0	0	69	0	0	0
		0	0	0	0	20	0	0	0
	Lapis lazuli	0	0	0	0	0	58	0	0
		0	0	0	0	0	33	0	0
	Celadonite	0	0	0	0	0	0	25	0
		0	0	0	0	0	0	8	0
	Green malachite	0	0	0	0	2	0	1	29
		0	0	0	0	0	0	0	10
	Verona green	1	0	0	0	0	0	0	1
		1	0	0	0	0	0	0	7
	Sensitivity	0,95	1,00	1,00	1,00	0,97	1,00	0,96	0,97
		0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88
	Specificity	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,81
		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99

Table 3.- Confusion matrix and classification parameters for the SVM-DA model during cross validation. In bold, the prediction results for the external validation.

	Real class (pigment)									
	Lead-tin yellow	Yellow ochre	Orpiment	Egyptian blue	Azurite	Lapis lazuli	Celadonite	Green malachite	Verona green	
Predicted class (pigment)	Lead-tin yellow	20 19	1 0	1 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 1	
	Yellow ochre	0 0	27 12	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	
	Orpiment	0 0	0 1	25 17	0 0	0 0	0 0	0 0	0 1	
	Egyptian blue	0 0	0 0	0 0	46 44	0 0	0 0	0 0	0 0	
	Azurite	0 0	0 0	0 0	0 20	69 20	0 0	0 0	0 0	
	Lapis lazuli	0 0	0 0	0 0	0 0	0 33	58 0	0 0	0 0	
	Celadonite	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 8	25 0	2 0	
	Green malachite	0 0	0 0	0 0	0 0	1 0	0 0	1 10	27 0	
	Verona green	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	1 7	31
Sensitivity	0,95 1,00	0,96 0,92	0,96 1,00	1,00 1,00	1,00 1,00	1,00 1,00	1,00 1,00	0,96 1,00	0,93 1,00	1,00 0,88
Specificity	0,99 0,99	1,00 1,00	1,00 0,99	1,00 1,00	1,00 0,99	1,00 1,00	0,98 1,00	0,99 0,98	0,99 1,00	0,99

Table 4.- Confusion matrix and classification parameters for the ANN-DA model during cross validation. In bold, the prediction results for the external validation.

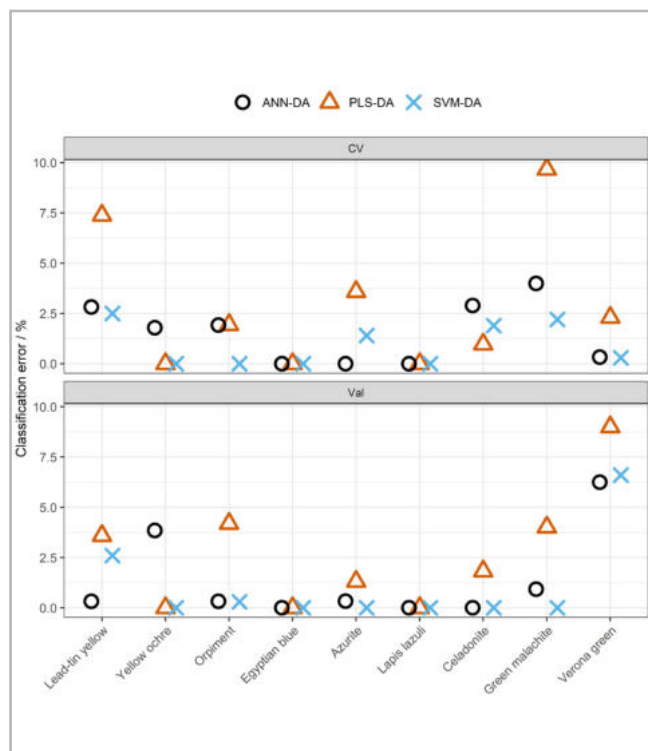


Figure 3.- Methods' comparison: classification parameters for the PLS-DA, SVM-DA, and ANN-DA. The classification errors for cross-validation (top) and external validation (bottom) for each class are shown.

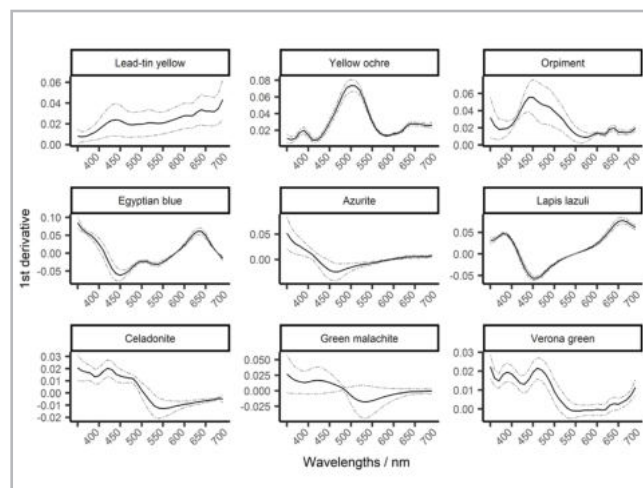


Figure 4.- First derivative average spectra for the different pigments under investigation. In grey, the standard deviation.

lead-tin-yellow), and in some others, SVM-DA yields better predictions (for example, yellow ochre). However, these differences are not significant, and it can be concluded that both methods successfully discriminate among pigments in the spectral modelling. This similarity in classification potential of both approaches is further corroborated by the global accuracy values for the VAL sets of both models (98.8 % in both instances). Additionally, sensitivity values for the VAL set were above 88 % in both cases, with

specificities above 99 % and 98 % for SVM-DA and ANN-DA, respectively.

It must be considered that these two models, by their non-linear nature, require a more complex optimization process. Consequently, the computational effort required to train them is slightly higher than the one required for PLS-DA. Additionally, due to the more complex model architecture, they are also more prone to overfitting. In this regard, it becomes crucial to assess their robustness by implementing a fully external validation set to check that the results obtained during internal validation are sustained when predicting new samples.

—Practical implications in the field of Cultural Heritage

With the approach proposed in this manuscript, we have developed three chemometric strategies to deal with spectral information in the field of Cultural Heritage. Particularly, we have focused on inorganic pigment identification through visible reflectance spectroscopy. This approach compares three methods, both linear and non-linear, aiming to provide the analyst with an objective tool to enhance the fieldwork decision-making. Most usually, visible reflectance spectroscopy is used in the field of pigment analysis, given its highly descriptive nature of the electromagnetic spectrum range of interest. In that region, inorganic species present electronic transitions reflected in absorption bands in the visible range. The usual approach is to check the measured spectra, and sometimes visually compare them with a reference spectra database. Despite being useful and simple, this approach relies on a subjective component and can be systematised by data treatment.

In this direction, the work proposed here aims to provide a new approach that uses an already common and well-known tool (spectrophotometer) coupled to chemometric tools to make the process more robust. In this manner, we are enriching the information that can be extracted from a common instrument by creating a calibration dataset for pigment identification. By implementing this methodology, the analyst/restorer will not only have the spectra of the different points that have been measured, but also a first and tentative prediction of its nature.

Conclusions

In this article, we have developed a chemometric investigation into historical pigment identification by combining visible reflectance spectroscopy to classification chemometric tools. Visible reflectance spectroscopy was selected as the analytical technique given its intrinsic advantages, like portability, low cost, easiness to use, and wide availability in the Cultural Heritage field. However, this technique does not usually provide unambiguous identification based exclusively

on the visible reflectance spectra. Thus, this contribution delved into the development of chemometric classification methodologies that, combined with the information provided by the analytical instrumentation, enhances the amount of information provided to the analyst.

In this context, three different methodologies have been developed and assessed, comparing their qualitative identification capabilities: a linear one based on Partial Least Squares – Discriminant Analysis, and two non-linear ones (Support Vector Machines – Discriminant Analysis and Artificial Neural Networks – Discriminant Analysis). The models have been developed and analysed for three colour hues (yellow, green, and blue), each one of them being represented by three inorganic pigments. All the implemented models yielded satisfactory prediction capabilities, with global accuracy values (for the external validation set) above 94.2 %. A comparison among the three methods demonstrated how PLS-DA yielded slightly worse results when compared to the two non-linear approaches. While the PLS-DA worked well for cases with clear spectral differences, it found some pitfalls in cases with similar spectral features. Both SVM-DA and ANN-DA provided better classification potential in those cases, thanks to the non-linearity included in those models. In both instances, classification errors and parameters were similar, with neither having clear advantages over the other. However, these models require more computational power to be trained, and must be optimized with caution to avoid overfitting.

This work provides a new alternative combining traditional chemometric techniques, like PLS-DA, with machine learning tools, like SVM-DA and ANN-DA, in the field of Cultural Heritage. The overall results of the in-situ investigations are enhanced by implementing adequate data treatment procedures for common instrumentation and data. This method aims to help and enhance fieldwork decision-making for professionals who may get a fast, objective, and tentative in situ identification for a sample.

Acknowledgements

The authors thank the *Conselleria de Educació, Cultura, Universidades y Empleo* – Generalitat Valenciana for the funding (CIPROM2023/037).

References

- ACETO, M., APOLLONIA, L., & LAMBERTI, A. (2014). "Characterisation of colourants on illuminated manuscripts by portable fibre optic UV-visible-NIR reflectance spectrophotometry", *Analytical Methods*, 6(5): 1488–1500. <https://doi.org/10.1039/C3AY41904E>
- BALLABIO, D., & CONSONNI, V. (2013). "Classification tools in chemistry. Part 1: linear models. PLS-DA", *Analytical Methods*, 5(16): 3790. <https://doi.org/10.1039/c3ay40582f>

- BARBU, O.H. (2021). "pXRF and FTIR Spectrometry Applied to the Study of Azurite and Smalt in Romanian Medieval Wall Painting", In: Aoki, S., et al. "Conservation and Painting Techniques of Wall Paintings on the Ancient Silk Road." *Cultural Heritage Science*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4161-6_6
- BIANCHETTI, P., TALARICO, F., VIGLIANO, M. G., & ALI, M. F. (2000). "Production and characterization of Egyptian blue and Egyptian green frit", *Journal of Cultural Heritage*, 1(2): 179–188. [https://doi.org/10.1016/s1296-2074\(00\)00165-5](https://doi.org/10.1016/s1296-2074(00)00165-5)
- CHEILAKOU, E., KARTSONAKI, M., KOU, M., & CALLET, P. (2009). "A nondestructive study of the identification of pigments on monuments by colorimetry", *International Journal of Microstructure and Materials Properties*, 4(1): 112. <https://doi.org/10.1504/ijmmp.2009.028437>
- CSÉFALVAYOVÁ, L., STRLIČ, M., KARJALAINEN, H. (2011). "Quantitative NIR Chemical Imaging in Heritage Science", *Analytical Chemistry*, 83(13): 5101 – 5106. <https://doi.org/10.1021/ac200986p>
- DASZYKOWSKI, M., WALCZAK, B., & MASSART, D. (2002). "Representative subset selection", *Analytica Chimica Acta*, 468(1): 91–103. [https://doi.org/10.1016/s0003-2670\(02\)00651-7](https://doi.org/10.1016/s0003-2670(02)00651-7)
- DELANEY, J., RICCIARDI, P., & ACETO, M. (2014). "Use of imaging spectroscopy, fiber optic reflectance spectroscopy, and X-ray fluorescence to map and identify pigments in illuminated manuscripts", *Heritage Science*, 2(6). <https://doi.org/10.1179/2047058412Y.0000000078>
- FAN, C., ZHANG, P., WANG, S., & HU, B. (2018). "A study on classification of mineral pigments based on spectral angle mapper and decision tree", *Proceedings of SPIE*, 10806, Article 10806. <https://doi.org/10.1117/12.2503088>
- FIORETTI, G., CLAUSI, M., ERAMO, G., LONGO, E., MONNO, A., PINTO, D., & TEMPESTA, G. (2023). "A Non-Invasive and sustainable characterization of pigments in wall paintings: a library of Apulian colors", *Heritage*, 6(2): 1567–1593. <https://doi.org/10.3390/heritage6020084>
- GARCÍA-BUCIO, M. A., CASANOVA-GONZÁLEZ, E., MITRANI, A., RUVALCABA-SIL, J. L., MAYNEZ-ROJAS, M. Á., & RANGEL-CHÁVEZ, I. (2022). "Non-destructive and non-invasive methodology for the in situ identification of Mexican yellow lake pigments", *Microchemical Journal*, 183, 107948. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.107948>
- HRADIL, D., GRYGAR, T., HRADILOVÁ, J., BEZDIČKA, P., GRÜNVALDOVÁ, V., FOGAŠ, I., & MILIANI, C. (2007). "Microanalytical identification of Pb-Sb-Sn yellow pigment in historical European paintings and its differentiation from lead tin and Naples yellows", *Journal of Cultural Heritage*, 8(4): 377–386. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2007.07.001>
- KASTENHOLZ, H.V., TOPPER, M.I., WARREN, W.S., FISCHER, M.C., & GRASS, D. (2024). "Noninvasive identification of carbon-based black pigments in cultural heritage using pump-probe microscopy and support vector machines", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(50), e2407433121. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adp0005>
- LIU, M., WANG, Z., & LIU, X. (2024). "Spectroscopic Techniques for Identifying Pigments in Polychrome Cultural Relics", *Coatings*, 15(1): 20. <https://doi.org/10.3390/coatings15010020>
- MANDAL, D., PEDERSEN, M., GEORGE, S., DEBORAH, H., & BOUST, C. (2023). "An Experiment-based Comparative Analysis of Pigment Classification Algorithms using Hyperspectral Imaging", *Journal of Imaging Science and Technology*, 67(3), 030403. <https://doi.org/10.2352/j.imagingsci.technol.2023.67.3.030403>
- MAO, J., & JAIN, A. (2002). "Discriminant analysis neural networks", *IEEE International Conference on Neural Networks*, San Francisco: IEEE, 1993, 300-305 vol.1. <https://doi.org/10.1109/icnn.1993.298573>
- MELO, M.J., NABAIS, P., VIEIRA, M., ARAÚJO, R., OTERO, V., LOPES, J., & MARTÍN, L. (2022). "Between past and future: Advanced studies of ancient colours to safeguard cultural heritage and new sustainable applications", *Dyes and Pigments*, 205, 110563. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2022.110815>
- MONTAGNER, C., SANCHES, D., PEDROSO, J., MELO, M. J., & VILARIGUES, M. (2012). "Ochres and earths: Matrix and chromophores characterization of 19th and 20th century artist materials", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 103: 409–416. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2012.10.064>
- MORETTO, L. M., ORSEGA, E. F., & MAZZOCCHIN, G. A. (2011). "Spectroscopic methods for the analysis of celadonite and glauconite in Roman green wall paintings", *Journal of Cultural Heritage*, 12(4): 384–391. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.04.003>
- MUÑOZ, L.P. (2023). "Non-invasive, non-destructive and portable identification of Indian yellow: Moving from highly purified standards to real watercolour, oil and historical samples", *Journal of Cultural Heritage*, 62: 202–213. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.06.022>
- MUEHLETHALER, C., MASSONNET, G., ESSEIVA, P., & LAMBERT, D. (2016). "Combining spectroscopic data in the forensic analysis of paint: Application of a multiblock technique as chemometric tool", *Forensic Science International*, 266: 338–345. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.03.049>
- PIOVESAN, R., MAZZOLI, C., MARITAN, L., CORNALE, P. (2012). "Fresco and lime-paint: an experimental study and objective criteria for distinguishing between these painting techniques", *Archaeometry*, 54(4): 723 – 736
- POPELKA-FILCOFF, R.S. (2020). "Pigment Analysis in Archaeology", En *Encyclopedia of Global Archaeology*, 8615 – 8619, Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30018-0_2281
- POUYET, E., MITEVA, T., ROHANI, N., & VIGUERIE, L. (2021). "Artificial Intelligence for Pigment Classification Task in the Short-Wave Infrared Range", *Sensors*, 21, Article 6150. <https://doi.org/10.3390/s21186150>

RADPOUR, R., GATES, G.A., KAKOULLI, I., DELANEY, J.K. (2022). "Identification and mapping of ancient pigments in a Roman Egyptian funerary portrait by application of reflectance and luminescence imaging spectroscopy", *Heritage Science*, 10, 8. <https://doi.org/10.1186/s40494-021-00639-5>

RICCIARDI, P., DELANEY, J.K., & ACETO, M. (2013). "It's not easy being green': a spectroscopic study of verdigris and copper-containing green pigments in illuminated manuscripts", *Analytical Methods*, 5(13): 3278–3288. <https://doi.org/10.1039/C3AY40530C>

RICCIARDI, P., CORDERO, R., & LAMBERTI, A. (2012). "Near Infrared Reflectance Imaging Spectroscopy to Map Paint Binders in Early Renaissance Paintings", *Angewandte Chemie International Edition*, 51(32): 7608–7611. <https://doi.org/10.1002/anie.201200840>

ROMANI, M., CAPOBIANCO, G., PRONTI, L., COLAO, F., SECCARONI, C., PUIU, A., FELICI, A.C., VERONA-RINATI, G., CESTELLI-GUIDI, M., TOGNACCI, A., VENDITTELLI, M., MANGANO, M., ACCONCI, A., BONIFAZI, G., SERRANTI, S., MARINELLI, M., & FANTONI, R. (2020). "Analytical chemistry approach in cultural heritage: the case of Vincenzo Pasqualoni's wall paintings in S. Nicola in Carcere (Rome)", *Microchemical Journal*, 156, 104831. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.104920>

SÁEZ-HERNÁNDEZ, R., ANTELA, K. U., GALLELLO, G., et al. (2022). "Identification of ancient pigments using non-destructive spectroscopic techniques: a case study on Roman frescoes", *Journal of Cultural Heritage*, 58: 156–166. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.10.003>

SÁEZ-HERNÁNDEZ, R., CERVERA, M. L., MORALES-RUBIO, Á., LUQUE, M. J., PÉREZ-TORRALBA, I., GALLELLO, G., ANTELA, K. U., & MAURI-AUCEJO, A. R. (2024). "Digital image-based method to identify historical pigments in wall paintings", *Dyes and Pigments*, 222, 111912. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2023.111912>

VITRUVIO POLION, M.L., "Los diez libros de Arquitectura".

WU, T, LI, G., YANG, Z., ZHANG, H., LEI, Y., WANG, N., ZHANG, L (2016). "Shortwave Infrared Imaging Spectroscopy for Analysis of Ancient Paintings", *Applied Spectroscopy*, 71(5): 977 – 987. <https://doi.org/10.1177/0003702816660724>

YOGURTCU, B., CEBI, N., KOÇER, A.T., & ERARSLAN, A. (2024). "A Review of Non-Destructive Raman Spectroscopy and Chemometric Techniques in the Analysis of Cultural Heritage", *Molecules*, 29(22): 5324. <https://doi.org/10.3390/molecules29225324>

Autor/es



Jordi Cruz

jcruz@euss.cat

EUSS School of Engineering, Barcelona

<https://orcid.org/0000-0001-8191-8689>

Jordi Cruz is a University Associate Professor and lecturer at the EUSS School of Engineering in Barcelona since 2011. He holds an h-index of 11 and has authored over 30 scientific publications. He has supervised two PhD theses and one master's student. His research focuses on multivariate analysis applied to rapid analytical techniques such as NIR, Raman, FTIR, and NIR chemical imaging spectroscopy. These methods are used to develop fast, reliable analytical tools across various industrial sectors, including pharmaceuticals, phytotherapy, petrochemicals, cultural heritage, and forensics. Dr. Cruz conducts most of his research at the Agri-Food Technology Research Institute (IRTA) in Monells (Girona) and Forensics and Cultural Heritage at SmartChem Lab at the University of Valencia. He also maintains active collaborations with several international institutions: the Department of Pharmaceutical Chemistry at Mahidol University (Bangkok, Thailand), the Institute of Chemical Engineering at the Bulgarian Academy of Sciences (Sofia, Bulgaria), the University of the Basque Country, Teagasc in Ireland, and the Department of Forensic Chemistry at Florida International University (USA).



Roberto Sáez-Hernández

roberto.saez@uv.es

University of Valencia

<https://orcid.org/0000-0001-9010-9445>

Roberto Sáez-Hernández is an Assistant Professor at the Analytical Chemistry department of the University of Valencia. His research focuses on the analytical treatment and interpretation of spectroscopic and imaging signals through chemometric exploratory and supervised methods. Particularly, he has focused his research on the fields of food science – delving into the investigation of food contamination and food fraud –, Cultural Heritage – investigating construction materials of relevant historical sites or ancient gold coinage –, and more recently Forensics. In this regard, he has carried out research stays in national and international universities and research facilities, like the Institute of Food Science and Technology (IATA – CSIC), and the Universities of Bologna, Autonomous of Barcelona, and Copenhagen



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1444>



II JORNADAS DE INVESTIGADORES JÚNIOR EN PATRIMONIO

Ge-conservación
Conservação | Conservation

Jornadas JIP - 2, 3 y 4 de abril de 2025

Evaluación de la tecnología láser como método de limpieza para pintura mural al temple

Laura Andrés-Herguedas, José Santiago Pozo-Antonio, Teresa Rivas Brea

Resumen: La pintura mural, al tratarse de un bien patrimonial (semi-)expuesto a diferentes agentes, sufre diferentes formas de alteración, como la aparición de depósitos, costras, etc., que pueden comprometer su estabilidad. Por tanto, las intervenciones de conservación de la pintura mural resultan esenciales para salvaguardar su significado. Desde 1970, la tecnología láser ha demostrado ser una herramienta eficaz para la limpieza de materiales usados en el patrimonio cultural. En este estudio se evalúa la aplicación de tres sistemas láser (Er:YAG, Nd:YAG y Nd:YVO₄) para eliminar una capa de hollín depositado sobre muestras modelo de pintura mural al temple y envejecidas de manera acelerada con exposición de SO₂. Los temples usados se prepararon en laboratorio mezclando pigmentos inorgánicos con aglutinantes orgánicos, aplicando la pintura sobre un mortero de carbonato cálcico. Los resultados evidenciaron el carácter protector del aglutinante y la eficacia de diferentes estrategias láser (modificando frecuencia y/o fluencia) para eliminar la capa de hollín respetando la capa pictórica.

Palabras clave: limpieza láser, pintura mural, Er:YAG, Nd:YAG, Nd:YVO₄, conservación

Evaluation of laser technology as a cleaning method for tempera mural painting

Abstract: Mural painting, as a (semi-)exposed element of cultural heritage, is subjected to various agents and undergoes diverse forms of deterioration, such as the appearance of deposits, crusts, etc., which may compromise its stability. Therefore, conservation interventions are essential to safeguard the significance of mural paintings. Since the 1970s, laser technology has proven to be an effective tool for cleaning materials employed in cultural heritage. This research evaluates the application of three laser systems (Er:YAG, Nd:YAG y Nd:YVO₄) for the removal of a layer of soot on tempera mural paintings mock-ups that has been accelerated aged with SO₂ exposure. Tempera mock-ups were prepared in the laboratory mixing inorganic pigments with organic binders and applying the paint onto a calcium carbonate-based mortar. Findings revealed both the protective role of the binder and the effectiveness of different laser strategies (by modifying frequency and/or fluence) in removing soot deposits while preserving the pictorial layer.

Keywords: laser cleaning, wall painting, Er:YAG, Nd:YAG, Nd:YVO₄, conservation

Introducción

La pintura mural constituye una expresión artística que simboliza, de manera tangible, la identidad cultural y la memoria colectiva de las sociedades. Desde las antiguas civilizaciones hasta las expresiones contemporáneas del muralismo, estas representaciones han servido como reflejo de costumbres, luchas sociales y valores. Preservarlas resulta crucial para mantener vivo no solo el legado cultural, sino también el significado simbólico que encierran. No obstante, como algunas pinturas murales se encuentran (semi-)expuestas a la intemperie, estas sufren procesos de deterioro provocados por factores ambientales como la temperatura, la humedad, el material particulado, y los gases contaminantes entre otros (Bacci *et al.* 2000; Van Den Brink

et al. 2000; Urosevic *et al.* 2012). En el contexto actual del cambio climático, los contaminantes atmosféricos favorecen la formación de pátinas, depósitos, costras superficiales, etc. (Ricciardi *et al.* 2024) que comprometen la integridad física y estética de la capa pictórica, por lo que resulta necesario conocer cómo afectan los procedimientos de limpieza a la pintura con el objetivo de identificar el método que permita una mayor extracción de la suciedad y respete la pintura, el medio ambiente y la salud de los trabajadores.

En la década de los 70 tuvo lugar la primera aplicación satisfactoria del láser para la limpieza de incrustaciones negras en mármol veneciano (Asmus *et al.* 1974) y desde entonces, esta tecnología ha despertado gran interés. Son numerosos los casos de estudio en los que se ha constatado

la eficacia de esta técnica para la limpieza de depósitos o costras de diferente naturaleza en materiales que constituyen el patrimonio cultural material, especialmente en rocas (Ortiz *et al.* 2013; Brand *et al.* 2022), pero también en pintura mural (Andreotti *et al.* 2006; Gaspard *et al.* 2008). Al hablar de patrimonio pictórico mural, son pocos los trabajos centrados en la aplicación del láser como herramienta de limpieza en obra real (Gordon Sobott *et al.* 2003; Andreotti *et al.* 2006), pero son más abundantes los centrados en estudios sobre la evaluación del nivel de eficacia de la limpieza en muestras de laboratorio de restos de tratamientos de conservación previos, suciedad, etc. (Bracco *et al.* 2003; Teule *et al.* 2003; Pouli *et al.* 2009). Una gran parte de la bibliografía se basa principalmente en el empleo de láseres de excímero, Nd:YAG y Er:YAG y en cómo afectan al nivel de limpieza adquirido: 1) los distintos parámetros del láser como son: la longitud de onda, la duración de pulso, la frecuencia de repetición, la fluencia, etc., 2) las características de la pintura que se desea preservar y 3) las características de la sustancia a eliminar (Oujja *et al.* 2010; Siano and Salimbeni, 2010; Bordalo *et al.* 2012). Numerosas investigaciones se basaron en la evaluación de muestras sometidas a la irradiación láser, constituidos únicamente por pigmentos (Pouli *et al.* 2003; Oujja *et al.* 2013) y por muestras de pinturas, es decir considerando la mezcla del pigmento con el aglutinante (Castillejo *et al.* 2003). De esta manera, se conocen los cambios mineralógicos y/o químicos que experimentan las muestras bajo determinadas condiciones de irradiación. En el caso de las pinturas al temple, constituidas por pigmentos inorgánicos (como cinabrio, azurita, oropimente, etc.) mezclados con un aglutinante orgánico como el huevo o la cola de conejo resulta muy interesante conocer si el aglutinante podría presentar un rol protector (Bordalo *et al.* 2012). El láser, al tratarse de una técnica de limpieza irreversible, obliga a abordar una caracterización exhaustiva de los efectos de los diferentes parámetros del láser (como son la longitud de onda, la duración de pulso, la frecuencia, la fluencia, etc.) en los componentes de la pintura (pigmento y aglutinante) y en muestras modelo en el laboratorio antes de realizar cualquier intervención en obra real.

El presente estudio presenta resultados preliminares sobre la eficacia del uso de diferentes fuentes láser para limpiar hollín en muestras que simulan pinturas al temple, con el fin de establecer los parámetros que permitan una limpieza satisfactoria sin afectar al material pictórico. Se presenta una metodología sistemática en la que se aplica el láser a muestras modelo constituidas únicamente por pigmento, muestras que simulan pintura al temple sin suciedad y muestras sobre las que se aplicó hollín y, posteriormente, se sometieron a un ensayo de exposición a SO₂ bajo condiciones controladas de humedad y temperatura. Se emplearon tres láseres de diferentes longitudes de onda y duraciones de pulso para evaluar su eficacia. Los láseres seleccionados fueron: Er:YAG (2940 nm y 150 μs), Nd:YAG en modo Long Q-Switched-LQS- (1064 nm y 100 ns) y Nd:YVO₄ (355 nm y 25 ns). En primer lugar, se determinaron las fluencias de no daño aparente al ojo humano, tanto en muestras constituidas únicamente por pigmento puro como en muestras que imitan las pinturas

murales. Posteriormente, en las muestras envejecidas artificialmente se determinaron las condiciones de irradiación adecuadas para extraer el hollín. Las zonas tratadas fueron analizadas mediante estereomicroscopía, espectrofotometría del color, microscopía electrónica de barrido con sonda de dispersión de energía (SEM-EDS) y espectroscopía de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) con el fin de determinar el grado de extracción del hollín e identificar los posibles cambios inducidos en las pinturas.

Materiales y métodos

— Materias primas y elaboración de las muestras

Se eligieron dos pigmentos (de colores azul y amarillo) que se utilizan con frecuencia en la pintura mural al temple: azurita (Cu₃(CO₃)₂(OH)₂) y oropimente (As₂S₃). Para la elaboración de pinturas al temple, se eligieron como aglutinante la yema de huevo (Y de aquí en adelante) y la cola de conejo (C de aquí en adelante). Los dos pigmentos y la cola de conejo se adquirieron en Kremer Pigments GmbH & Co. y los huevos en un mercado local. En este estudio se ha trabajado con tres tipos de muestras. Por un lado, muestras constituidas únicamente por pigmento (tabletas a partir de ahora), que se elaboraron con la ayuda de una prensa en la que se aplicaron 30 t. Se realizaron en total 6 tabletas (3 por pigmento). Por otro lado, se prepararon muestras que imitan pinturas al temple constituidas por la mezcla del pigmento con el aglutinante siguiendo las recetas tradicionales (Pacheco 1990), que se aplicaron sobre un mortero de cal constituido por dos capas: 1-*arriccio* (1/3 en volumen empleando 1 de cal, 2 de árido fino y 1 de árido grueso), y 2-*intonaco* (1/2 en volumen empleando 1 de cal, 1 de árido fino y 1 de marmolina) y dejando carbonatar durante un mes a 18±5°C y 70±10% HR. Los métodos de preparación para la yema de huevo y para la cola de conejo se pueden consultar en (Herrera *et al.* 2016) y (Cardell *et al.* 2017), respectivamente. Se prepararon un total de 24 muestras modelo (12 pinturas por pigmento). La mitad de estas fueron cubiertas con hollín recogido de tubos de escape de vehículos con motor diésel, y luego se sometieron a un envejecimiento acelerado en cámara climática (FITOCLIMA 300EDTU) controlando la temperatura (18°C), humedad relativa (80%) y con una exposición a SO₂ (200 ppm) durante 40 días.

— Equipos láser

Es este estudio se han empleado tres fuentes láser con diferentes características que se mencionan a continuación:

-Láser Er:YAG (grupo El.En) que opera a 2940 nm (radiación IR) con una duración de pulso de 150 μs. La tasa de repetición elegida fue de 15 Hz y se varió la energía emitida y el diámetro del haz.

- Láser Nd:YAG (EOS 1000 laser, grupo El.En), en modo Long Q-Switched (LQS) que opera a 1064 nm (radiación IR) con una duración de pulso de 100 ns. Las tasas de repetición elegidas fueron 1 y 3 Hz y se varió la energía emitida por el haz y el diámetro del haz.

- Láser Nd:YVO₄ (Avia Ultra 355-2000, Coherent) que opera a 355 nm (radiación UV) con una duración de pulso de 25 ns. Se utilizó una lente convergente de 150 mm de distancia focal. Se varió la tasa de repetición de 0.25, 0.5, 1 y 2 kHz y el diámetro del haz.

La metodología seguida se muestra en la [Figura 1]. Es necesario indicar que se hicieron una serie de exploraciones preliminares en la periferia de las muestras para determinar las fluencias que no producían daño aparente. A continuación, se detallan los pasos seguidos:

1. Determinación de las fluencias de no daño aparente (f_{nd-T} de aquí en adelante) en las tabletas [Figura 1A y D].

2. Aplicación de la fluencia determinada en el paso anterior en sus correspondientes pinturas al temple sin la capa de suciedad [Figura 1B, E y F]. Dependiendo del resultado, hubo que ajustar los parámetros para determinar las fluencias de no daño aparente en este tipo de muestras (f_{nd-Y} o f_{nd-C} , para los temples de yema de huevo y cola de conejo, respectivamente).

3. Aplicación de la f_{nd-Y} o f_{nd-C} para comprobar si estas fluencias eran adecuadas para eliminar los depósitos de hollín [Figura 1C, G y H]. En el caso de que quedasen restos de depósito, fue necesario modificar los parámetros para conseguir la fluencia necesaria para mejorar la limpieza (f_{li-Y} o f_{li-C}), respetando la capa pictórica que se encuentra debajo.

Puesto que las muestras irradiadas en este estudio fueron las mismas, independientemente del pigmento, en la [Figura 2] se presentan las correspondientes a la azurita tras la aplicación de los tres sistemas láser (Er:YAG, Nd:YAG y Nd:YVO₄) en los tres tipos de muestras (tabletas, temples modelo sin hollín y temples modelo con hollín).

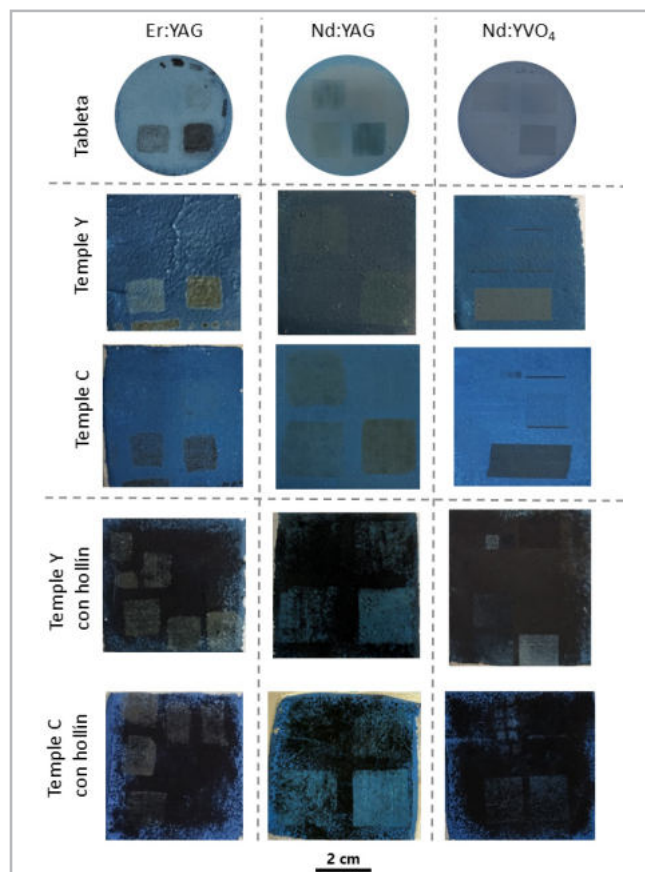


Figura 2.- Imágenes de todas las muestras con azurita después de la irradiación con los tres sistemas láser (Er:YAG, Nd:YAG y Nd:YVO₄).

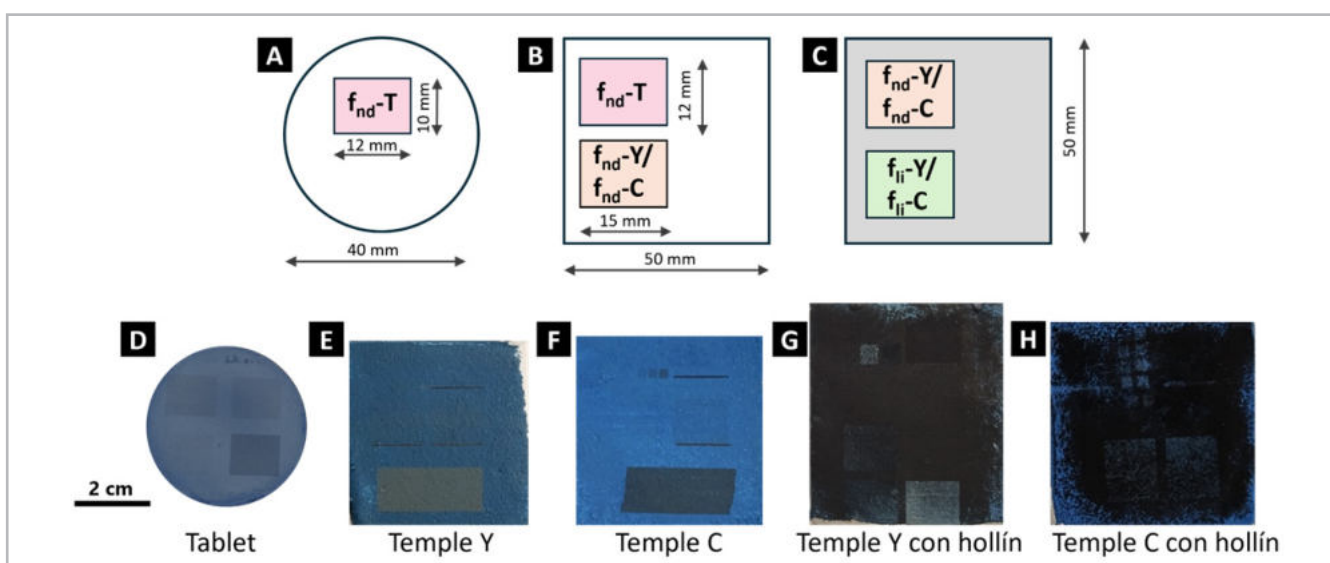


Figura 1.- Metodología seguida en este estudio para la determinación y aplicación de las fluencias de no daño aparente (f_{nd}) y de limpieza (f_{li}) en los distintos tipos de muestras. A: tabletas de pigmento. B: pinturas sin depósitos de hollín. C: pinturas con depósito de hollín.

— Técnicas analíticas

Para la determinación de las fluencias de no daño aparente (f_{nd-T} y $f_{nd-Y/C}$) y la evaluación del resultado de la aplicación de estas condiciones en las pinturas con la capa de hollín se utilizaron las siguientes técnicas analíticas:

- Para la evaluación de cambios físicos en las muestras se utilizó el estereomicroscopio SMZ800 Nikon para caracterizar su apariencia antes y después de la irradiación láser.

- La caracterización de los cambios de color de las tabletas y de las muestras de pintura al temple se llevó a cabo con el empleo del espectrofotómetro Minolta CM-700d. Las mediciones se realizaron en el espacio del color CIELAB, donde L^* representa la claridad (0: blanco y 100: negro); a^* es la coordenada de color entre rojo (a^* positiva) y verde (a^* negativa) y b^* es la coordenada de color entre amarillo (b^* positiva) y azul (b^* negativo) (CIE S014-4/E:200, 2007). Las mediciones se llevaron a cabo con el componente especular excluido (SCE), con un diámetro de medición de 3 mm, con un iluminante D65 y un ángulo de observación de 10° . Se realizaron 5 mediciones en cada zona irradiada y a continuación, se calcularon las diferencias ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔC^*_{ab} , ΔH y la diferencia de color (ΔE^*_{ab}) siguiendo lo descrito en (CIE S014-4/E: 2007), tomando como color de referencia el de la muestra antes de la irradiación. En el caso de la evaluación de las limpiezas, se tomó como referencia la muestra con el depósito de hollín. Para evaluar si la aplicación del láser modifica la tonalidad original, se ha realizado otra comparativa tomando como referencia el color de la muestra sin aplicar el hollín.

Para la evaluación de la fluencia de limpieza para mejorar la eliminación del depósito en las muestras de temple con hollín se emplearon, a mayores de las técnicas anteriores, las siguientes:

- La identificación de residuos de hollín se realizó mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) usando un equipo portátil 4300 Agilent en modo de reflectancia total atenuada (ATR). Se registraron 100 escaneos por muestra en el rango de 4000 a 650 cm^{-1} con una resolución de 2 cm^{-1} .

- Los cambios micromorfológicos se analizaron a través del microscopio electrónico de barrido (SEM) con sonda de dispersión de energía (EDS) FEI Quanta200. Se recubrieron las muestras con una capa de carbono y las condiciones óptimas de trabajo fueron un voltaje de 15-20 kV, una distancia de trabajo de 10-11 mm y una corriente de la muestra de 60 mA.

Resultados y discusión

— Fluencias de no daño aparente (f_{nd}) en las muestras sin hollín

Las fluencias de no daño aparente y la frecuencia seleccionada para las distintas muestras de este estudio se muestran en la Tabla 1. En esta condición, dentro de cada láser, se fijó la misma frecuencia para todas las muestras: 15 Hz para el Er:YAG, 1 Hz

para el Nd:YAG y 250 Hz para el Nd:YVO₄. Atendiendo a la composición mineralógica de los pigmentos, se puede decir que no hay grandes diferencias respecto a la susceptibilidad (tendencia a sufrir un cambio de color) de estos dos pigmentos con dos excepciones: con el láser Er:YAG, el OR parece resistir mejor a la irradiación (soporta fluencias ligeramente superiores que la AZ) mientras que con el Nd:YVO₄ ocurre lo contrario, es la AZ la que soporta fluencias mayores. Como se observa en la Tabla 1, por lo general, las fluencias aplicadas en las pinturas son ligeramente superiores a las aplicadas en las tabletas, por lo que se pone de manifiesto el rol protector del aglutinante sobre el pigmento, en concordancia con los resultados de otros estudios (Camaiti *et al.* 2007; Gaspard *et al.* 2008). Esta característica ocurre, especialmente, en la irradiación con el Nd:YVO₄, puesto que las fluencias aplicadas en las tabletas es un 50% menor que las que se aplicaron en las pinturas. Por otro lado, en el caso de los temples, no parece que haya diferencias entre el comportamiento en función del aglutinante estudiado (Y y C), salvo en el caso de la irradiación de los temples de OR irradiadas con el Nd:YVO₄: la fluencia de no daño que soporta el temple de OR con yema de huevo es superior a su contraparte de cola de conejo. Finalmente, comparando los tres láseres utilizados, el Er:YAG es el que permite aplicar fluencias más elevadas sin llegar a ocasionar daños en las muestras, seguido por el Nd:YAG y en último lugar se encuentra el Nd:YVO₄. En este caso de estudio, el láser que emite a mayor longitud de onda (2940 nm) y con pulso más largo (150 μ s), el Er:YAG, permite el uso de mayores fluencias, mientras que el láser que emite a menor longitud de onda (355 nm) y duración de pulso más corta (25 ns), el Nd:YVO₄, conlleva la aplicación de fluencias más bajas para el tipo de muestras consideradas.

La determinación de estas f_{nd} tanto de las tabletas como de las muestras de pinturas no siempre fueron confirmadas con la espectrofotometría de color, especialmente en las muestras con oropimente, ya que exceptuando OR-C con Er:YAG, en el resto las diferencias de color ΔE^*_{ab} superan las 3.5 u. CIELAB [Figura 3A], que es el umbral que determina que las diferencias de color son visiblemente evidentes incluso para un ojo sin experiencia (Mokrzycki and Tatol 2011). Por el contrario, en las muestras de AZ, las condiciones de no daño visible fueron apoyadas con las medidas del color [Figura 3B y C].

	Er:YAG 15 Hz	Nd:YAG 1 Hz	Nd:YVO4 250 Hz
AZ-T	0.87 J/cm ²	0.17 J/cm ²	0.07 J/cm ²
AZ-Y	0.95 J/cm ²	0.26 J/cm ²	0.11 J/cm ²
AZ-C	0.95 J/cm ²	0.26 J/cm ²	0.11 J/cm ²
OR-T	1.18 J/cm ²	0.17 J/cm ²	0.03 J/cm ²
OR-Y	0.95 J/cm ²	0.26 J/cm ²	0.28 J/cm ²
OR-C	0.95 J/cm ²	0.26 J/cm ²	0.09 J/cm ²

Tabla 1.- Frecuencias y fluencias empleadas en la condición de no daño aparente en las tabletas (f_{nd-T}) y en las muestras de pinturas al temple ($f_{nd-Y/fnd-C}$) para cada uno de los láseres de este estudio.

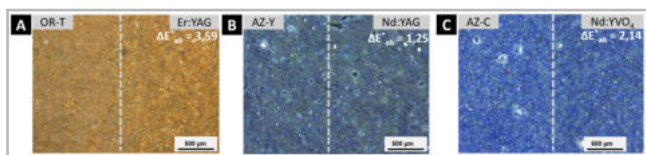


Figura 3.- Micrografías de algunas muestras de temple sin hollín en las que se aplicaron las fluencias de no daño aparente (f_{nd}) acompañadas de su diferencia de color (ΔE^*_{ab}), tomando como referencia la muestra sin hollín. A la izquierda de cada micrografía: muestra de referencia y a la derecha: muestra irradiada con el láser indicado. OR=orpimente, AZ=azurita; T=tableta; Y=yema de huevo; C=cola de conejo.

— Fluencias de no daño aparente (f_{nd}) en las muestras con hollín

Antes de describir los resultados de esta sección, hay que indicar que los cálculos de la diferencia de color (ΔE^*_{ab}) se realizaron considerando como referencia el color de la pintura con el hollín; por lo que, cuanto más elevado sea este valor, mayor será la diferencia de color de la muestra respecto a su referencia, indicando una mayor extracción del depósito de hollín. Por lo general, las fluencias de no daño aparente (f_{nd}) determinadas en el apartado 3.1 no fueron suficientes para limpiar los depósitos de hollín de las muestras ensuciadas en las pinturas de azurita [Figura 4C]; excepto en la pintura aglutinada con yema de huevo con el Er:YAG, en la que la irradiación con la f_{nd} parece que permite extraer cierta cantidad de hollín. Sin embargo, en ambos temple de OR, las fluencias seleccionadas para Er:YAG [Figura 4A] y Nd:YAG

[Figura 4B] sí fueron suficientes para empezar a eliminar el hollín. En este sentido, se confirma la gran influencia de las propiedades del material que va a ser irradiado (temple sin y con hollín en este estudio) en las condiciones de irradiación. A pesar de que con la f_{nd} del Er:YAG se comenzó a eliminar el hollín en las pinturas con ambos pigmentos, tras su irradiación se observó un cambio de color hacia tonalidades anaranjadas que no se observó en las muestras sin hollín irradiadas. Por lo tanto, este hecho podría implicar que estas pinturas al temple tras el ensayo de envejecimiento acelerado son menos resistentes a la irradiación láser, ya que sufren un cambio de color hacia tonalidades anaranjadas tras la irradiación. Esto podría deberse a que los grupos-OH presentes en la pintura y en hollín son absorbentes de la irradiación a 2940 nm, que es la longitud de onda que emite el Er:YAG (Pereira-Pardo y Korenberg 2018).

— Mejora de la extracción del depósito de hollín

En la Tabla 2 se comparan los valores de frecuencia y fluencia tanto de la condición de no daño aparente (condición f_{nd}) como de la que presentó una mayor eficacia en la limpieza (condición f_{ij}). Como se aprecia en dicha tabla, las estrategias seguidas para mejorar los resultados obtenidos al aplicar f_{nd} , fueron diferentes en función del láser. Con el Er:YAG, la frecuencia se mantuvo constante, pero se disminuyó la fluencia en todas las pinturas menos en la pintura AZ-Y-h,

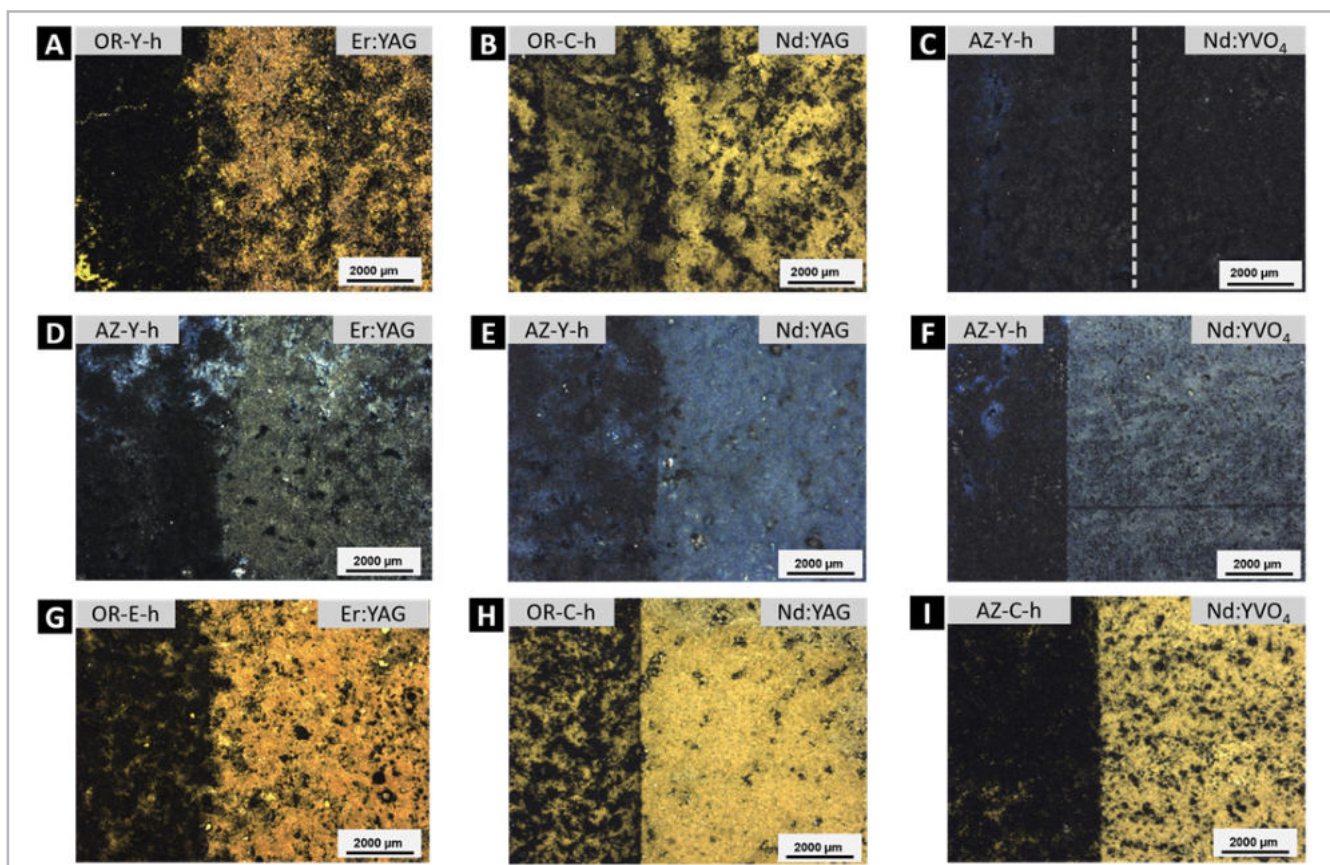


Figura 4.- A-C: micrografías de la aplicación de la condición de no daño aparente (f_{nd}). D-I: micrografías de la aplicación de la condición en la que se identificó una mayor eficacia en la limpieza (f_{ij}). AZ=azurita; OR=orpimente; Y=yema de huevo; C= cola de conejo; h=hollín.

que aumentó ligeramente. En cambio, con el láser Nd:YAG, se aumentó la frecuencia para mejorar la eficacia y, finalmente, con el Nd:YVO₄ fue necesario aumentar tanto la frecuencia como la fluencia.

Siguiendo estas estrategias, se consiguió mejorar la eficacia de la eliminación del hollín como se observa en las [Figura 4E y H], aunque hubo excepciones. En ambas pinturas de OR tras el Er:YAG se observó un cambio de color hacia tonos anaranjados [Figura 4G], mientras que en la AZ-Y-h irradiada con los láseres Er:YAG y Nd:YVO₄ se identificó un amarilleamiento y un blanqueamiento respectivamente [Figura 4D y F], marcado con un asterisco en la Tabla 2. Con estereomicroscopía se identificó el sistema láser Nd:YAG como el más eficaz eliminando el hollín.

En la [Figura 5A] se presentan los ΔE^*_{ab} de las pinturas limpiadas (tomando como referencia los temples con hollín); cuanto mayor es el ΔE^*_{ab} mayor es el grado de extracción del hollín. En todos los casos, las muestras en las que se aplicó f_{nd} presentan ΔE^*_{ab} menores que tras la aplicación de f_{li} , especialmente en la AZ-Y-h y OR-Y-h con Nd:YAG y Nd:YVO₄ y en la OR-C-h con el Nd:YVO₄. Comparando los ΔE^*_{ab} de las superficies limpiadas con cada láser, en el caso de la pintura AZ-Y-h tanto el Er:YAG como el Nd:YAG presentaron mayores ΔE^*_{ab} ; en la AZ-C-h, el Nd:YAG; en la OR-Y-h, tanto el Er:YAG como el Nd:YAG y en la OR-C-h, el Nd:YVO₄. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los ΔE^*_{ab} sufridos de las pinturas limpiadas también pueden estar influenciados por los cambios hacia tonalidades alejadas del color inicial de la pintura. Tampoco se puede pasar por alto el efecto que el ensayo de envejecimiento acelerado ha podido provocar en el color de las pinturas. Por este motivo, en la [Figura 5B] se presentan los ΔE^*_{ab} tomando como referencia la pintura sin hollín, para conocer si quedan depósitos de hollín tras la aplicación del láser. En este caso, un mayor ΔE^*_{ab} indicaría una mayor cantidad de restos. De nuevo, estos valores respaldan que se obtuvieron mejores resultados con el Nd:YAG, al obtener los valores más bajos. Es importante indicar que el ΔE^*_{ab} respecto al color original de la pintura puede estar incluyendo también posibles cambios de color

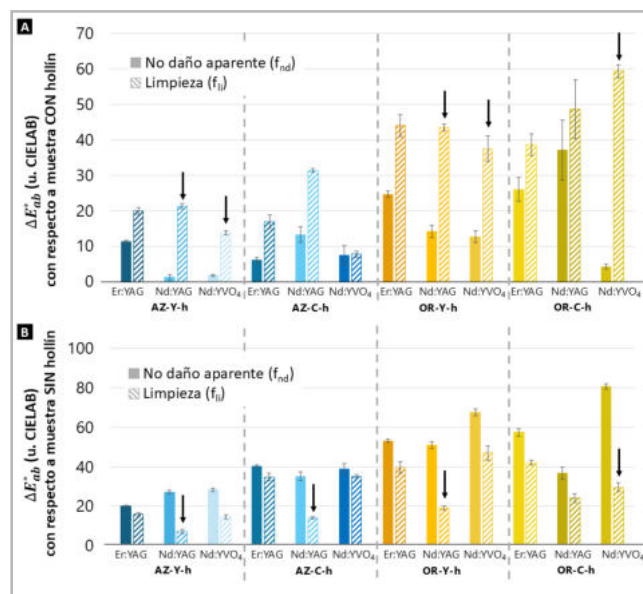


Figura 5.- A: ΔE^*_{ab} de las pinturas en las que se aplicaron la condición de no daño aparente (f_{nd}) y la que presentó una mayor eficacia en la limpieza (f_{li}), tomando como referencia el color de la pintura con hollín. B. ΔE^*_{ab} de ambas condiciones (f_{nd} y f_{li}) de las pinturas, tomando como referencia el color de la pintura sin hollín. AZ=azurita; OR=oropimente; Y=yema de huevo; C=cola de conejo. Las flechas negras indican las muestras en las que se mejoró considerablemente la limpieza.

debidos al efecto provocado por el ensayo de envejecimiento acelerado en la cámara climática o al posible efecto del láser en la pintura.

Con el fin de identificar restos de hollín en las limpiezas se realizaron análisis FTIR [Figura 6A]. Hay que considerar la evaluación de estos resultados con cautela, ya que algunas de las bandas asociadas al hollín coinciden con las bandas de los distintos aglutinantes. El espectro del hollín presenta una intensa joroba en el rango 1200-900 cm^{-1} , asociadas a los grupos funcionales C-O-C, C-OH, y H-Carom (Cocozza *et al.* 2003; Zhao *et al.* 2022). En las muestras limpiadas se pudo identificar una reducción de la intensidad de este hombro haciéndose visibles las bandas asociadas a los aglutinantes. Los espectros de las pinturas con OR tras el Er:YAG continúan presentando la joroba característica del hollín [Figura 6A], indicando por lo tanto su permanencia.

Los cambios micromorfológicos se evaluaron mediante SEM. La visualización con este método permitió confirmar la presencia de partículas de hollín en la mayoría de las muestras analizadas [Figura 6C y E]. Además, permitió constatar que la aplicación del Er:YAG produjo una alteración de la textura en las pinturas con cola de conejo [Figura 6B y E], ya que se observó la fusión de las partículas del pigmento, mostrando una morfología globular. Este hecho podría estar relacionado con el cambio de color hacia las tonalidades anaranjadas identificadas *de visu*. Mediante SEM, se confirma que el láser Nd:YAG es el más eficaz para eliminar los depósitos de hollín [Figura 6D y F] con los parámetros seleccionados en este estudio, ya que la presencia de restos de hollín fue inferior al resto [Figura 6C].

	Er:YAG		Nd:YAG		Nd:YVO ₄	
	Condición no daño (f_{nd})	Condición limpieza (f_{li})	Condición no daño (f_{nd})	Condición limpieza (f_{li})	Condición no daño (f_{nd})	Condición limpieza (f_{li})
AZ-Y	15 Hz 0.95 J/cm ²	*15 Hz 0.48 J/cm ²	1 Hz 0.26 J/cm ²	3 Hz 0.26 J/cm ²	250 Hz 0.11 J/cm ²	*2 KHz 0.21 J/cm ²
AZ-C	15 Hz 0.95 J/cm ²	15 Hz 1.27 J/cm ²	1 Hz 0.26 J/cm ²	3 Hz 0.26 J/cm ²	250 Hz 0.11 J/cm ²	2 kHz 0.21 J/cm ²
OR-Y	15 Hz 0.95 J/cm ²	15 Hz 0.64 J/cm ²	15 Hz 0.26 J/cm ²	3 Hz 0.26 J/cm ²	250 Hz 0.28 J/cm ²	1 kHz 0.28 J/cm ²
OR-C	15 Hz 0.95 J/cm ²	15 Hz 0.80 J/cm ²	15 Hz 0.26 J/cm ²	3 Hz 0.26 J/cm ²	250 Hz 0.10 J/cm ²	0.5 kHz 0.28 J/cm ²

Tabla 2.- Frecuencia y fluencia para la condición de no daño visible (f_{nd}) y de la que presentó una mayor eficacia en la limpieza (f_{li}) para cada uno de los tres láseres. El asterisco indica aquellas pinturas AZ-Y que sufrieron un amarilleamiento y un blanqueamiento tras ser irradiadas con el Er:YAG y el Nd:YVO₄, respectivamente.

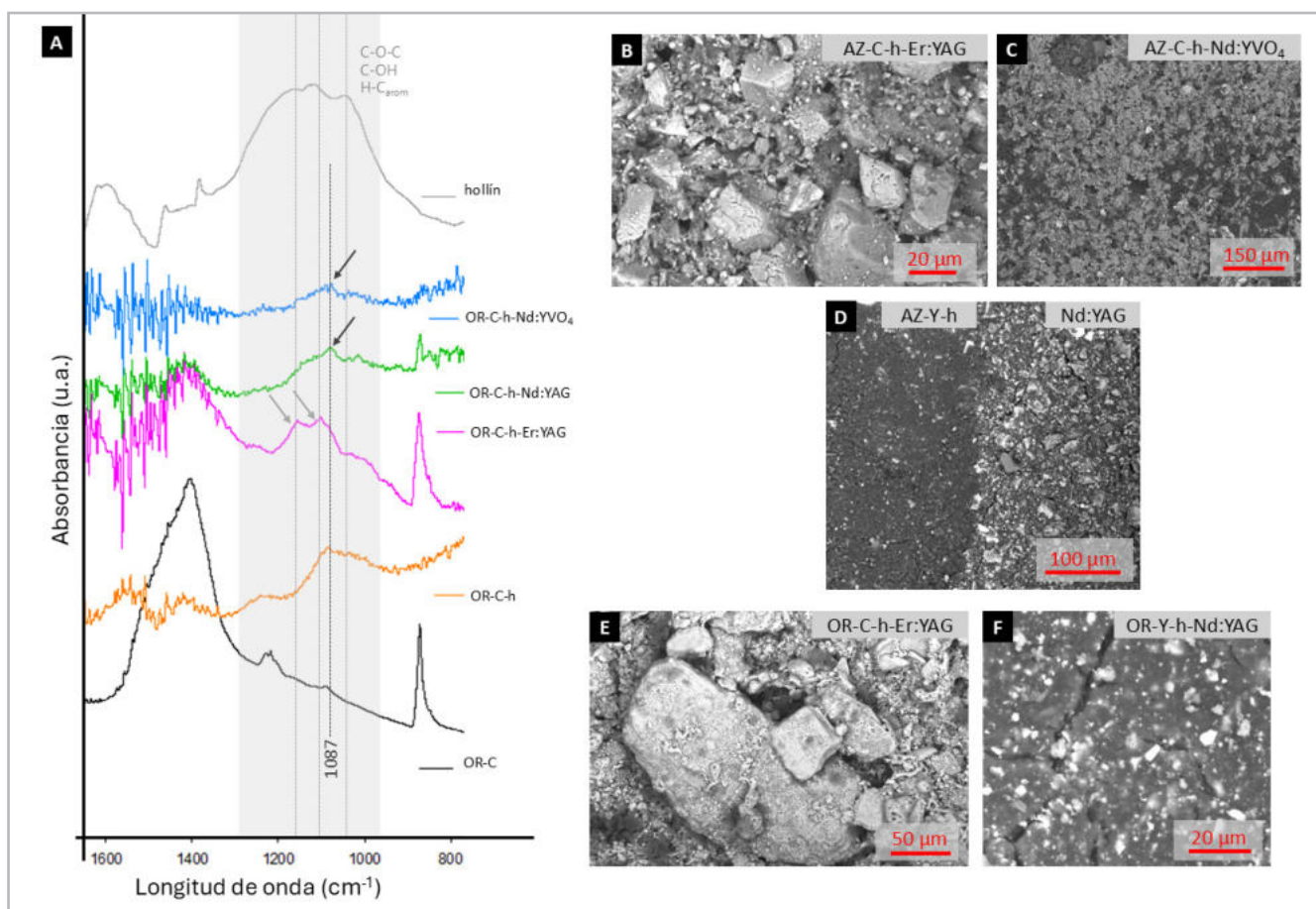


Figura 6.- A: Espectro FTIR de las pinturas de OR-C-h después de aplicar los tres láseres. B-F: micrografías tomadas con SEM de las zonas limpiadas con láser. AZ=azurita; OR=oropimente; Y=yema de huevo; C=cola de conejo.

Conclusiones

Tres láseres de características completamente diferentes (longitud de onda, duración de pulso, frecuencia, entre otros) se utilizaron para eliminar una capa de suciedad artificial en muestras de pintura al temple con pigmentos de distinta composición (azurita y oropimente). Antes de limpiar las muestras con la capa de suciedad, se determinaron las fluencias de no daño aparente en las tabletas y en las pinturas sin suciedad. Por lo general, los umbrales de no daño aparente determinados en las tabletas fueron inferiores a los identificados en las pinturas, sugiriendo un rol protector de los aglutinantes. La aplicación de estas fluencias en las muestras de pintura con suciedad no fue suficiente para conseguir limpiar la capa de suciedad, especialmente, en las muestras de azurita para cada láser. No obstante, se consiguió mejorar la extracción de la capa de suciedad aplicando diferentes estrategias: en el Er:YAG (reducción de la fluencia), en el Nd:YAG (aumento de la frecuencia) y, finalmente, en el Nd:YVO₄ (aumento de frecuencia y de fluencia). De los tres láseres, el Nd:YAG permitió una mayor eficacia en la eliminación del hollín.

En futuras investigaciones sería interesante abordar si la aplicación de los diferentes sistemas láser estudiados afecta

a la adherencia y durabilidad de la pintura. Además, es necesario remarcar que en este estudio no se ha trabajado con muestras reales, por lo que se trabajará en transferir los parámetros determinados en este estudio a obras reales.

Agradecimientos

Este estudio forma parte del proyecto de investigación PID2021-123395OA-I00 financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033, por "FEDER Una manera de hacer Europa" y por la "Unión Europea". Laura Andrés-Herguedas agradece el contrato predoctoral PRE2022-105106 financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por "FSE+". José Santiago Pozo-Antonio recibe el apoyo del proyecto RYC2020-028902-I financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por el "FSE invierte en tu futuro".

Referencias

ANDREOTTI, A., COLOMBINI, M.P., NEVIN, A., MELESSANAKI, K., POULI, P., FOTAKIS, C., (2006). Multianalytical Study of Laser Pulse Duration Effects in the IR Laser Cleaning of Wall Paintings from

the Monumental Cemetery of Pisa. *Laser Chem.* 1–11. <https://doi.org/10.1155/2006/39046>

ASMUS, J.F., MURPHY, C.G., MUNK, W.H., (1974). Studies On The Interaction Of Laser Radiation With Art Artifacts, in: Wuerker, R.F. (Ed.), *Developments in Laser Technology II*. SPIE, 19–30. <https://doi.org/10.1117/12.953831>

BACCI, M., PICOLLO, M., PORCINAI, S., RADICATI, B., (2000). Tempera-Painted Dosimeters for Environmental Indoor Monitoring: A Spectroscopic and Chemometric Approach. *Environ. Sci. Technol.* 34: 2859–2865. <https://doi.org/10.1021/es991437d>

BORDALO, R., MORAIS, P.J., YOUNG, C.R., SANTOS, L.F., ALMEIDA, R.M., (2012). Characterisation of laser-induced physical alterations of pigmented oil layers. *E Preserv Sci* 9: 47–59.

BRACCO, P., LANTERNA, G., MATTEINI, M., NAKAHARA, K., SARTIANI, O., DE CRUZ, A., WOLBARSH, M.L., ADAMKIEWICZ, E., COLOMBINI, M.P., (2003). Er:YAG laser: an innovative tool for controlled cleaning of old paintings: testing and evaluation. *J. Cult. Herit.* 4: 202–208. [https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(02\)01232-3](https://doi.org/10.1016/S1296-2074(02)01232-3)

BRAND, J., RODE, A.V., MADDEN, S., WAIN, A., KING, P.L., RAPP, L., (2022). Ultrashort pulsed laser ablation of granite for stone conservation. *Opt. Laser Technol.* 151, 108057. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2022.108057>

CAMAITI, M., MATTEINI, M., SANSONETTI, A., STRIOVA, J., CASTELLUCCI, E., ANDREOTTI, A., COLOMBINI, M.P., DECRUZ, A., PALMER, R., (2007). The interaction of laser radiation at 2.94 μm with azurite and malachite pigments, in: Castillejo, M., Moreno, P., Oujja, M., Radvan, R., Ruiz, J. (Eds.), *Lasers in the Conservation of Artworks VIII: Proceedings of the International Conference on Lasers in the Conservation of Artworks VII (LACONA VII)*, Madrid, Spain, 17–21 September, 2007. CRC Press: Taylor&Francis Group, London, 253–258.

CARDELL, C., HERRERA, A., GUERRA, I., NAVAS, N., RODRÍGUEZ SIMÓN, L., ELERT, K., (2017). Pigment-size effect on the physico-chemical behavior of azurite-tempera dosimeters upon natural and accelerated photo aging. *Dyes Pigments* 141: 53–65. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2017.02.001>

CASTILLEJO, M., MARTÍN, M., OUJJA, M., SANTAMARÍA, J., SILVA, D., TORRES, R., MANOUSAKI, A., ZAFIROPOULOS, V., VAN DEN BRINK, O.F., HEEREN, R.M.A., TEULE, R., SILVA, A., (2003). Evaluation of the chemical and physical changes induced by KrF laser irradiation of tempera paints. *J. Cult. Herit.* 4: 257–263. [https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(02\)01143-3](https://doi.org/10.1016/S1296-2074(02)01143-3)

CIE S014-4/E:200, 2007. Colorimetry-part 4: CIE 1976 $L^* a^* b^*$ colour space. Comm. Int. Eclairage CIE Cent. Bur. Vienna.

COCOZZA, C., D'ORAZIO, V., MIANO, T.M., SHOTYK, W., (2003). Characterization of solid and aqueous phases of a peat bog profile using molecular fluorescence spectroscopy, ESR and FT-IR, and comparison with physical properties. *Org. Geochem.* 34: 49–60. [https://doi.org/10.1016/s0146-6380\(02\)00208-5](https://doi.org/10.1016/s0146-6380(02)00208-5)

GASPARD, S., OUJJA, M., MORENO, P., MÉNDEZ, C., GARCÍA, A., DOMINGO, C., CASTILLEJO, M., (2008). Interaction of femtosecond laser pulses with tempera paints. *Appl. Surf. Sci.* 255: 2675–2681. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.07.205>

GORDON SOBOTT, R.J., HEINZE, T., NEUMEISTER, K., HILDENHAGEN, J., (2003). Laser interaction with polychromy: laboratory investigations and on-site observations. *J. Cult. Herit.* 4: 276–286. [https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(02\)01147-0](https://doi.org/10.1016/S1296-2074(02)01147-0)

HERRERA, A., NAVAS, N., CARDELL, C., (2016). An evaluation of the impact of urban air pollution on paint dosimeters by tracking changes in the lipid MALDI-TOF mass spectra profile. *Talanta* 155: 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.04.006>

MOKRZYCKI, W., TATOL, M., (2011). Color difference Delta E - A survey. *Mach. Graph. Vis.* 20: 383–411.

ORTIZ, P., ANTÚNEZ, V., ORTIZ, R., MARTÍN, J.M., GÓMEZ, M.A., HORTAL, A.R., MARTÍNEZ-HAYA, B., (2013). Comparative study of pulsed laser cleaning applied to weathered marble surfaces. *Appl. Surf. Sci.* 283: 193–201. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.06.081>

OUJJA, M., POULI, P., DOMINGO, C., FOTAKIS, C., CASTILLEJO, M., (2010). Analytical Spectroscopic Investigation of Wavelength and Pulse Duration Effects on Laser-Induced Changes of Egg-Yolk-Based Tempera Paints. *Appl. Spectrosc.* 64: 528–536. <https://doi.org/10.1366/000370210791211628>

OUJJA, M., SANZ, M., REBOLLAR, E., MARCO, J.F., DOMINGO, C., POULI, P., KOGOU, S., FOTAKIS, C., CASTILLEJO, M., (2013). Wavelength and pulse duration effects on laser induced changes on raw pigments used in paintings. *Spectrochim. Acta. A. Mol. Biomol. Spectrosc.* 102: 7–14. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2012.10.001>

PACHECO, F., (1990). El arte de la pintura. Cátedra, Madrid, España.

Pereira-Pardo, L., Korenberg, C., 2018. The use of erbium lasers for the conservation of cultural heritage. A review. *J. Cult. Herit.* 31, 236–247. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.10.007>

POULI, P., EMMONY, D.C., MADDEN, C.E., SUTHERLAND, I., (2003). Studies towards a thorough understanding of the laser-induced discoloration mechanisms of medieval pigments. *J. Cult. Herit.* 4, 271–275. [https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(02\)01207-4](https://doi.org/10.1016/S1296-2074(02)01207-4)

POULI, P., NEVIN, A., ANDREOTTI, A., COLOMBINI, P., GEORGIOU, S., FOTAKIS, C., (2009). Laser assisted removal of synthetic painting-conservation materials using UV radiation of ns and fs pulse duration: Morphological studies on model samples. *Appl. Surf. Sci.* 255: 4955–4960. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.12.049>

RICCIARDI, M., PIRONTI, C., COMITE, V., BERGOMI, A., FERMO, P., BONTEMPO, L., CAMIN, F., PROTO, A., MOTTA, O., (2024). A multi-analytical approach for the identification of pollutant sources on black crust samples: Stable isotope ratio of carbon,

sulphur, and oxygen. *Sci. Total Environ.* 951, 175557. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175557>

SIANO, S., SALIMBENI, R., (2010). Advances in Laser Cleaning of Artwork and Objects of Historical Interest: The Optimized Pulse Duration Approach. *Acc. Chem. Res.* 43: 739–750. <https://doi.org/10.1021/ar900190f>

TEULE, R., SCHOLTEN, H., VAN DEN BRINK, O.F., HEEREN, R.M.A., ZAFIROPULOS, V., HESTERMAN, R., CASTILLEJO, M., MARTÍN, M., ULLENIUS, U., LARSSON, I., GUERRA-LIBRERO, F., SILVA, A., GOUVEIA, H., ALBUQUERQUE, M. B. (2003). Controlled UV laser cleaning of painted artworks: a systematic effect study on egg tempera paint samples. *J. Cult. Herit.* 4: 209–215. [https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(02\)01137-8](https://doi.org/10.1016/S1296-2074(02)01137-8)

UROSEVIC, M., YEBRA-RODRÍGUEZ, A., SEBASTIÁN-PARDO, E., CARDELL, C., (2012). Black soiling of an architectural limestone during two-year term exposure to urban air in the city of Granada (S Spain). *Sci. Total Environ.* 414: 564–575. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.11.028>

VAN DEN BRINK, O.F., EIJKEL, G.B., BOON, J.J., (2000). Dosimetry of paintings: determination of the degree of chemical change in museum-exposed test paintings by mass spectrometry. *Thermochim. Acta* 365: 1–23. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(00\)00609-2](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(00)00609-2)

ZHAO, B., LIANG, X., LI, T., LV, X., ZHANG, S., (2022). Impact of fuel aromatic content on soot particle physicochemical properties of marine auxiliary diesel engine. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29: 84936–84945. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21716-7>

Autor/es



Laura Andrés-Herguedas

laura.andres@uvigo.gal

CINTECX, Universidade de Vigo, Grupo GESSMin, Dpto. de Ingeniería de recursos naturales y medio ambiente.

<https://orcid.org/0009-0003-7336-223X>

Laura Andrés Herguedas, ingeniera de la energía (2020) y máster en ingeniería de Minas (2022). Es doctoranda del Programa de Doctorado en Protección del Patrimonio Cultural (Universidade de Vigo). Su investigación se centra en el uso de la tecnología láser para la limpieza y conservación del patrimonio cultural construido, con especial énfasis en pinturas murales al temple, es decir, pigmento y aglutinante sobre un sustrato de mortero de cal. Su trabajo está orientado principalmente a la caracterización y evaluación de aplicaciones láser en este tipo de pintura. Desde 2023, ha estado caracterizando pinturas modernas y antiguas sometidas a ensayos de envejecimiento acelerado, bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y exposición a SO₂ gas. Además, está investigando varios equipos láser para comprender mejor cómo afectan los distintos parámetros a las muestras

de laboratorio que simulan pinturas murales al temple tras la exposición al láser. También participa en el empleo de técnicas no invasivas para la evaluación y caracterización de materiales, así como en la evaluación del impacto de la exposición al láser. Ha contribuido hasta el momento con 3 publicaciones científicas y participaciones en congresos internacionales. Además, participa de manera activa en actividades de divulgación científica de la Escuela de Minas y Energía de la Universidade de Vigo.



José Santiago Pozo-Antonio

ipozo@uvigo.es

CINTECX, Universidade de Vigo, Grupo GESSMin, Dpto. de Ingeniería de recursos naturales y medio ambiente.

<https://orcid.org/0000-0002-7536-9609>

Doctor José Santiago Pozo Antonio, profesor titular en el departamento de ingeniería de recursos naturales y medioambiente de la Universidade de Vigo. Ingeniero de minas (2009), máster en tecnología ambiental (2010) y doctor en tecnología ambiental (2013). Su investigación se centra en la caracterización, deterioro y conservación de materiales del patrimonio cultural, con especial enfoque en la tecnología láser. Ha publicado más de 100 artículos en revistas SCI-JCR (h-index: 26) y más de 100 contribuciones en congresos internacionales y nacionales. Desde 2018 ha dirigido 4 tesis doctorales. Ha realizado estancias durante un total de 36 meses en instituciones de investigación extranjera: Getty Conservation Institute (USA, 2013-2014), Instituto Superior Tecnico (Portugal, 2015-2016), Institute of Electronic Structure and Laser at Foundation for Research and Technology-Hella (Grecia, 2016-2017). Participó en el comité organizador de cuatro congresos internacionales, destacando como organizador principal del TechnoHeritage2024. También es miembro del comité de evaluación del área de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Agencia Nacional de Investigación. Subdirector de relaciones externas y movilidad (2018–2022) de la Escuela de Ingeniería de Minas y Energía y, desde 2023, es director de Promoción de la Internacionalización, ambos en la UVIGO. Miembro de dos grupos de innovación docente: XEODA (coordinador, 2020–2023) y ODS Ciudades y Ciudadanía. Desde 2022 pertenece al Comité internacional de LACONA y, desde 2025, es vocal del grupo de Química para el Estudio y Conservación del Patrimonio de la Real Sociedad Española de Química. Hasta julio 2025, participó en 23 proyectos de I+D+internacionales y nacionales y 15 contratos. Es IP de 3 proyectos de I+D+i (financiados por el gobierno español) centrados en limpieza láser de patrimonio pictórico y conservación de arte urbano. Coordinó 3 proyectos europeos de movilidad (Erasmus+ KA171) y colabora en iniciativas STEMbach e Inspira STEAM para el fomento de vocaciones científico-tecnológicas.



Teresa Rivas Brea

trivas@uvigo.gal

CINTECX, Universidade de Vigo, Grupo
GESSMin, Dpto. de Ingeniería de recursos
naturales y medio ambiente.

<https://orcid.org/0000-0003-1694-5167>

Doctora en Ciencias Biológicas por la Universidad de Santiago de Compostela (1996). Desde 2009, es profesora titular de la Escuela de Minas y Energía (EME) de la Universidade de Vigo. Ha disfrutado de diversas estancias postdoctorales y contratos de investigación tanto en la Universidad de Santiago y Vigo como en el extranjero (Universidad de La Rochelle). Centra su investigación en los procesos de deterioro que afectan a los materiales del PC arqueológico y arquitectónico (piedra, pinturas murales, morteros, cerámicas, arte rupestre y murales de arte urbano contemporáneos). En los últimos 10 años, ha liderado tres proyectos de investigación nacionales, en régimen competitivo, enfocados a optimizar los métodos de desalación, limpieza y consolidación de rocas y morteros en patrimonio antiguo. Ha dirigido proyectos de investigación con empresas del sector de la rehabilitación arquitectónica y es asesora científica habitual de numerosas empresas de conservación y restauración del patrimonio cultural. Ha publicado 130 trabajos científicos publicados en revistas de impacto; más de 120 contribuciones a congresos (h-index 31), 3 keynotes en congresos internacionales, dirección de cinco tesis doctorales desde 2011; miembro del comité organizador de cuatro congresos internacionales; secretaria (2015-2018) y directora (2018-2021) del departamento de ingeniería de recursos naturales y medioambiente de la Universidade de Vigo; coordinadora del Programa de Doctorado en Protección del Patrimonio Cultural de la Universidade de Vigo (2015-2018); 65 contratos de I + D firmados con empresas del sector de la conservación y restauración del patrimonio cultural como asistente científica y autora de tres patentes de invención. Además, imparte docencia en la EME, en el Ciclo Intensivo de Mayores de la Universidade de Vigo y participa activamente en actividades de divulgación científica con perspectiva de género.



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1450>



II JORNADAS DE INVESTIGADORES JÚNIOR EN PATRIMONIO

Ge-conservación
Conservação | Conservation

Jornadas JIP - 2, 3 y 4 de abril de 2025

Productos de limpieza en museos: Evaluación de su idoneidad para objetos de plata

María García Ortúzar, Iván Díaz Ocaña, María Teresa Molina, Blanca Ramírez Barat

Resumen: En el marco de un proyecto de investigación multidisciplinar para la conservación de la plata, se ha evaluado el potencial impacto de los productos de limpieza empleados en entornos museísticos sobre objetos patrimoniales de plata. Gracias a la colaboración con tres instituciones estatales —el Museo Arqueológico Nacional, el Museo Sefardí de Toledo y el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología—, se recopilieron 24 productos empleados en los trabajos de limpieza. Mediante ensayos acelerados basados en el test de Oddy, se analizó el efecto producido sobre muestras metálicas de plata, cobre y plata esterlina. La evaluación, tanto visual como gravimétrica, ha permitido clasificar los productos según su idoneidad. Los resultados evidencian que, aunque en general los objetos patrimoniales de plata en los diferentes museos no se encuentran en riesgo, es preferible evitar algunos productos. Esto refuerza la importancia de la conservación preventiva y la colaboración entre museos y empresas de limpieza.

Palabras clave: conservación preventiva, museos, plata patrimonial, productos de limpieza, corrosión, test de Oddy

Cleaning Products in Museums: Assessment of their suitability for silver

Abstract: As part of a multidisciplinary research project on silver conservation, the potential impact of cleaning products used in museum environments on heritage silver objects has been assessed. In collaboration with three national institutions — the National Archaeological Museum, the Sephardic Museum of Toledo, and the National Museum of Science and Technology — 24 cleaning products representative of routine maintenance were collected. Through accelerated aging tests based on the Oddy test, the effects on silver, copper, and sterling silver coupons were analyzed. The evaluation, conducted through both visual inspection and gravimetric analysis, allowed for the classification of the products according to their suitability. The results show that, although silver heritage objects in the three museums are generally not at risk, it is preferable to avoid certain cleaning products in exhibition areas. This underscores the importance of preventive conservation and collaboration between museums and cleaning professionals.

Keywords: preventive conservation, museums, heritage silver, cleaning products, corrosion, Oddy test

Introducción

La conservación y difusión del patrimonio cultural son las misiones fundamentales de los museos; en este contexto nos enfrentamos a un desafío constante relativo a la conservación preventiva: el mantenimiento de las colecciones metálicas, en especial, y como objeto de este estudio, las compuestas por plata. Los metales, y de forma específica la plata patrimonial, son materiales que pueden presentar cierta sensibilidad a los agentes contaminantes presentes en el ambiente. Su elevada reactividad química frente a ciertos compuestos puede derivar en procesos de corrosión capaces de comprometer su conservación y su

apreciada apariencia estética. Entre estos compuestos se incluyen:

- Compuestos sulfurados: H_2S (g), COS (g)
- Compuestos clorados: Cl_2 (g) y NaClO (aq.)

La conservación del patrimonio cultural exige un estudio y vigilancia continuos de los factores capaces de comprometer su integridad, no solo desde una perspectiva de intervención directa, sino en lo referente al entorno que lo contiene y su mantenimiento diario. En el caso de la plata, el reto subyace en el altísimo valor estético asociado a su brillo y lustre; en condiciones ideales, este

metal debe poseer un brillo excepcional. Todo aquel visitante que se encuentre frente a un objeto patrimonial de plata espera poder apreciar su brillo; por ello, resulta inconcebible su exhibición en estado de empañamiento. Se trata de un proceso fácilmente identificable a simple vista porque deriva en el oscurecimiento y pérdida de brillo de la superficie del metal. Este fenómeno se produce porque la plata, al entrar en contacto con determinados contaminantes atmosféricos sulfurados, experimenta reacciones químicas en su superficie que generan compuestos de corrosión, como el sulfuro de plata (Ag_2S). Esta capa es la responsable del oscurecimiento progresivo y de la pérdida de brillo característicos.

Por ello, es dentro del ámbito de la conservación preventiva donde se plantean interrogantes relativos al entorno que contiene un bien patrimonial y de qué forma este medio y sus particularidades pueden afectar a la preservación del objeto a corto, medio y largo plazo. En la plata, y en general en la tarea de conservación del patrimonio metálico, el principal reto al que nos enfrentamos es la corrosión. Este proceso, de naturaleza electroquímica es espontáneo cuando se reúnen las condiciones necesarias de humedad relativa, presencia de oxígeno y/o contaminantes en el ambiente. De este modo, la prevención pasa necesariamente por tratar de controlar estos factores, especialmente la humedad relativa y la concentración de contaminantes, para lo que es fundamental identificar su origen. Estudios como el realizado por Cano y Lafuente (2013) en el Museo de América de Madrid, han demostrado que factores aparentemente secundarios como pueden ser el pH del ambiente en el interior de las vitrinas donde se exponen los objetos patrimoniales, o la elección de los materiales constructivos de estas y de los lugares de almacenamiento pueden tener un impacto muy significativo sobre la conservación del patrimonio.

El uso de los productos de limpieza en espacios museísticos es uno de estos factores sobre los que debemos poner el foco por su relevancia (Instituto del Patrimonio Cultural de España, 2020). Aunque las tareas de limpieza son esenciales para garantizar tanto la higiene de los museos y como la conservación preventiva de los bienes culturales, estos productos pueden contener compuestos de carácter volátil o reactivos que, sin necesidad de contacto directo, pueden interactuar negativamente con las colecciones tras una exposición prolongada. Esta preocupación es compartida por las instituciones museísticas, como lo demuestra el hecho de que existen licitaciones estatales para la contratación de empresas de limpieza, en cuyos pliegos se recogen especificaciones generales sobre las características que deben cumplir los productos, principalmente desde el punto de vista de la salud (Ministerio de Cultura 2023). Sin embargo, la dificultad para trazar los productos de limpieza finalmente empleados, representa un desafío importante. A ello se suma la dificultad para establecer una lista de productos de limpieza fiables, debido al elevado número de productos existentes en el mercado con diferente naturaleza química.

La mayoría de los productos de limpieza están formulados para un uso general y las fichas técnicas proporcionadas por los fabricantes no arrojan información suficiente ni sobre su composición, ni sobre la concentración del principio activo. En el mejor de los casos, los productos de limpieza podrían discriminarse por la naturaleza química del mismo, siempre y cuando se dé por completa la información existente en las fichas técnicas; pero en otros casos, puede desconocerse incluso el efecto que un determinado producto de limpieza podría tener en función de su naturaleza química. De ahí que los productos de limpieza deban ser evaluados para determinar su impacto a medio y largo plazo sobre el patrimonio cultural metálico, especialmente la plata, simulando las condiciones concretas que se dan en los museos y una exposición prolongada sobre los objetos expuestos.

En el estudio se han analizado tres instituciones estatales: el Museo Arqueológico Nacional, el Museo Sefardí de Toledo y el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología, con especial atención a su impacto sobre la plata. Es por ello que los objetivos principales de esta investigación son aportar conocimiento técnico suficiente y establecer criterios objetivos para la selección y uso de los productos de limpieza en contextos museísticos, especialmente cuando entre sus colecciones hay objetos patrimoniales de plata.

Los resultados obtenidos proporcionarán información sobre la seguridad de los diferentes productos, fomentando así una colaboración estrecha con los museos en el ámbito de la conservación preventiva y el uso responsable de productos compatibles con el patrimonio cultural metálico.

Materiales y métodos

— Revisión bibliográfica: Pliegos de Prescripciones Técnicas

La revisión bibliográfica previa reveló una destacable ausencia de publicaciones específicas que aborden esta problemática. Aunque existen numerosas investigaciones sobre la corrosión de metales en el interior de vitrinas o sobre la calidad del aire de los museos (Katsanos *et al.* 1999; Molina *et al.* 2023), son prácticamente inexistentes las que relacionan estos procesos de deterioro con el uso rutinario de productos de limpieza en las tareas habituales de salas, almacenes, zonas comunes o zonas de tránsito. En este sentido, Tétreault (2003) advierte que los compuestos orgánicos volátiles emitidos por productos de limpieza pueden actuar como agentes corrosivos, afectando negativamente a materiales sensibles en entornos patrimoniales.

Para abordar esta carencia de estudios específicos, se realizó una revisión documental de los pliegos de prescripciones técnicas publicados por diversas

instituciones museísticas para la contratación centralizada de los servicios de limpieza (Ministerio de Cultura 2023; Museo Sefardí 2022; MUNCYT 2023). El objetivo fue analizar las condiciones técnicas que deben cumplir las empresas adjudicatarias y extraer información respecto a posibles productos permitidos, frecuencia de limpieza, desinfección y/o sanitización, métodos, criterios ambientales, etc. Mediante este análisis se observó que la información proporcionada sobre los productos de limpieza suele ser bastante general, enfocándose en la necesidad de que sean neutros para el entorno patrimonial y respetuosos con la normativa vigente sobre medioambiente y seguridad laboral, sin especificar detalles concretos sobre los tipos de productos a utilizar.

—Selección de productos de limpieza

De manera conjunta con los museos participantes en el estudio y la colaboración con las empresas de limpieza, se recopilaron un total de 24 productos de limpieza empleados en estas instituciones. Según la información disponible, en las zonas con bienes culturales no se emplean amoníaco ni lejía, ni tampoco productos de higiene personal. Los demás productos se utilizan en distintas áreas del museo. La tabla 1 muestra los 24 productos de limpieza ensayados, agrupados por categoría funcional:

CATEGORÍA	NOMBRE PRODUCTO DE LIMPIEZA
Limpiadores generales, neutros y amoniacales	1. Amoniaco Casablanca 2. Celea Limpiador Floral 3. Amoniaco perfumado Gerpa 4. Celea Quitatintas
Desinfección / limpieza potente	5. Lejía El León 6. Lejía Gerpa 7. Celea Gel Detergente Colorado
Abrillantadores, ceras y cristalizadores	8. Doril Muebles Superceras 9. Vinfer Abrillantador Suelo 10. Gala Cristalizador Suelo Máquina 11. Cera Blanca Saniwash 12. Detergente madera Saniwash 13. Limpiacristales
Desengrasantes	14. Basic 60 15. Celea Desengrasante General
Friegasuelos	16. Basic 30 <i>Friegasuelos</i> Pool Chemical 17. <i>Friegasuelos</i> Neutro Buga Clean 18. Mopa Limp Pool Chemical 19. <i>Friegasuelos</i> Pool Chemical
Higiene personal / sanitaria	20. B-5 Gel de Manos Azul 21. SC Professional Clear Foam Pure - Deb Skincare 22. Jabón de manos
Lavavajillas manual	23. Celea Lavavajillas Manual 24. Basic 70 Lavavajillas Manual

Tabla 1. Categorización por tipo de los productos de limpieza ensayados

—Ensayos acelerados: Test de Oddy

Para evaluar los posibles efectos de estos productos sobre la plata en condiciones controladas, se planteó la implementación de un ensayo acelerado basado en el test de Oddy (Oddy 1973). Aunque no es un ensayo estandarizado, su uso es ampliamente aceptado como herramienta de la conservación preventiva por museos e instituciones culturales, y fue adaptado a las necesidades específicas de esta investigación (Díaz *et al.* 2024). La metodología que sigue este ensayo consiste en exponer pequeñas placas metálicas (habitualmente plata, cobre y plomo) que actúan como dosímetros de la corrosión, a la humedad y a la emisión de posibles compuestos volátiles emanados por los materiales a testar. De esta manera, se pueden seleccionar los materiales más adecuados para el entorno del patrimonio cultural. La presencia de corrosión o alteraciones visibles en las muestras metálicas permiten evaluar la posible liberación de los compuestos químicos que hayan interactuado con los metales. El motivo del empleo de diferentes metales para estudiar un único material no es otro que ampliar la gama de detección de los diversos contaminantes, ya que cabe la posibilidad de que un metal se vea alterado y otro no en presencia de determinados compuestos. Así por ejemplo, la plata es especialmente sensible a contaminantes sulfurados, como el sulfuro de hidrógeno (H_2S), pero apenas reacciona frente a ácidos orgánicos volátiles como el acético o el fórmico, mientras que el cobre sí presenta una notable susceptibilidad frente a estos últimos. Esta respuesta diferencial, derivada de la afinidad química de cada metal, justifica el uso de distintos metales.

Las placas metálicas utilizadas en este estudio estaban compuestas por plata esterlina (92.5 %Ag y 7.5 %Cu), plata (99.95%) y cobre (99.9%). La inclusión de la plata esterlina en este trabajo, aunque no es habitual en el test de Oddy, se debe a su amplio uso en joyería, orfebrería y otros elementos ornamentales presentes en el patrimonio cultural (Ortiz 2022). Por otro lado, los productos de limpieza a evaluar se diluyeron al 2 % v/v con agua destilada. Las muestras metálicas fueron expuestas por duplicado durante 28 días, a 25°C, a los compuestos volátiles desprendidos por la disolución de los productos de limpieza. Esta versión del test de Oddy, en la que se ensayan simultáneamente tres muestras metálicas, es conocida como la versión “3 en 1” y fue desarrollada por el Metropolitan Museum of Art (Bamberger, Howe, Wheeler 1999). En cada tubo de ensayo o dispositivo del test de Oddy se añadieron, independientemente, 10 ml de cada producto de limpieza a evaluar diluidos al 2 % v/v.

La Figura 1 muestra el dispositivo experimental empleado para la realización del ensayo, semejante en su filosofía al utilizado por el British Museum (Korenberg *et al.* 2018) para el test de Oddy, aunque con una modificación en la suspensión de las muestras metálicas en el tapón de silicona. En lugar de insertarse paralelamente en el tapón, las muestras se colgaron de ganchos de vidrio dispuestos

en forma triangular, lo cual homogeneiza las posiciones de los metales en el tubo de ensayo y evita la contaminación directa del metal con el tapón de silicona (Díaz & Cano 2022). Se empleó una brida para evitar que los tapones se soltaran.



Figura 1. Dispositivo experimental del test de Oddy (plata esterlina, plata y cobre) con los diferentes productos de limpieza a evaluar (ver Tabla 1).

— Evaluación de resultados

• Método 1: Análisis gravimétrico

La evaluación de los resultados obtenidos se llevó a cabo mediante el análisis gravimétrico, siguiendo la metodología de la norma UNE-EN ISO 11844: (2020): parte 2, basada en la ganancia de masa. Este método consiste en pesar la muestra metálica antes y después de la exposición al agente corrosivo; durante la oxidación, los iones metálicos formados en la superficie reaccionan con los contaminantes presentes, provocando un incremento de la masa. Para este estudio, se expusieron por duplicado las muestras de plata esterlina, plata y cobre, lo que permitió cuantificar la formación de productos de corrosión tras la acción de los productos de limpieza durante 28 días. Las mediciones se realizaron con una microbalanza de alta precisión (Mettler Toledo MT5), con una resolución de 0.001 mg.

• Método 2: Observación visual

El segundo método de evaluación fue la observación visual, siguiendo la guía interpretativa que ofrece y aplica el Metropolitan Museum of Art de Nueva York (MET) para la plata y el cobre. Esta guía clasifica las alteraciones en metales según el grado de corrosión experimentado a través de cambios de color, brillo y textura de los productos de corrosión (Silver Corrosion Library 2020; Copper Corrosion Library 2020). Asimismo, establece categorías de uso para los materiales evaluados: adecuado (sin corrosión), temporal (corrosión ligera) e inadecuado (elevada presencia de corrosión).

Este planteamiento metodológico combina la evaluación gravimétrica y la observación visual para estudiar el comportamiento de los productos de limpieza. La gravimetría aporta datos cuantitativos, mientras que

la inspección visual —según la guía del MET— ofrece información cualitativa esencial, dado que aumentos mínimos de masa no siempre se reflejan en cambios perceptibles de la superficie.

Resultados y discusión

—Revisión bibliográfica: Pliegos de Prescripciones Técnicas (PPT)

Los diferentes PPT analizados coinciden en un eje fundamental: los productos de limpieza empleados en entornos museísticos no pueden poseer componentes tóxicos, corrosivos ni abrasivos; es decir, se busca preservar la integridad de los bienes culturales y asegurar condiciones saludables para el personal de limpieza, el personal de conservación y el público. Las empresas de limpieza están obligadas a suministrar las fichas técnicas de los productos utilizados, y las instituciones culturales se reservan la potestad de rechazar los productos que considere inadecuados (Museo Sefardí 2022; Ministerio de Cultura 2023), constituyendo así un mecanismo de control preventivo cuyo fin último es la conservación del patrimonio. En cuanto a los productos de limpieza, los museos establecen cláusulas generales sobre la toxicidad y neutralidad de los mismos, así como su adecuación a los nuevos criterios ecológicos dictados y a las normativas de seguridad. Aunque existen estudios sobre interacciones indirectas de los compuestos volátiles con el patrimonio cultural metálico, hay mayor información sobre el contacto directo de estos productos con las superficies patrimoniales. Durante la crisis sanitaria por COVID-19, el Instituto del Patrimonio Cultural de España (Instituto del Patrimonio Cultural de España 2020) emitió recomendaciones específicas sobre el uso de desinfectantes, advirtiendo que productos como la lejía, el amoníaco y los detergentes podían resultar perjudiciales para los materiales patrimoniales si se aplicaban directamente sobre ellos, por lo que debían evitarse en superficies próximas a objetos culturales. En su lugar, se recomendaba el uso de soluciones menos agresivas en el entorno inmediato, como el etanol al 70%, aplicado a baja presión, garantizando así tanto la desinfección efectiva como la preservación de los bienes.

En la práctica, es la experiencia de los conservadores-restauradores la que permite descartar aquellos productos que consideran inadecuados en diálogo y colaboración con las empresas adjudicatarias, sugiriendo su sustitución o métodos de aplicación por otros más adecuados, ajustados a las necesidades patrimoniales.

—Ensayos acelerados: Test de Oddy

La Tabla 2 presenta el rango de variación en la ganancia de masa cuantificada para las muestras de plata esterlina, plata y cobre (por duplicado), en función del producto

de limpieza ensayado, una vez finalizados los 28 días del ensayo. Los 24 productos analizados se agrupan según su categoría funcional, y se incluye el valor de pH del producto original, medido mediante tiras reactivas MQuant™ (pH 0–14, indicador universal, Supelco, Merck).

En aquellos casos en los que pudo producirse un contacto directo entre los productos de limpieza y alguna de las muestras metálicas, se descartó tanto la evaluación visual del MET como la evaluación definitiva de dichos productos. Esto se debe a que el contacto directo puede haber favorecido la degradación y, en consecuencia, la ganancia de masa al generar una mayor cantidad de productos de corrosión, manteniendo activa la pila de corrosión durante más tiempo.

Los diferentes productos de limpieza analizados se sitúan en un rango de pH comprendido entre 2 y 9. Destaca

la acidez de los productos de limpieza 5 y 6, Lejía El León y Lejía Gerpa, respectivamente, lo que pone de manifiesto que no toda la información relevante figura en las fichas técnicas. En estos casos, debería indicarse la concentración de hipoclorito sódico, así como la presencia de otros compuestos adicionales que probablemente han contribuido al descenso del pH; aunque tampoco se descarta la decoloración de los reactivos por el efecto blanqueante de la lejía, como explicación de este resultado. En cuanto a la ganancia de masa, esta fue en todos los casos muy baja (próxima a cero). Los valores máximos cuantificados fueron de aproximadamente 0,5 mg para la plata y la plata esterlina, y de hasta 4 mg en el caso del cobre, si bien dicho valor se obtuvo en un único ensayo. No obstante, la verdadera relevancia de la ganancia de masa debe establecerse con el cambio de apariencia que esta provoca en la superficie de las muestras metálicas, de ahí la importancia de la evaluación visual, realizada según las

Categoría	Nombre del producto	pH	Muestra metálica	Variación gravimetría / mg	Evaluación visual (apéndices MET)
Limpiadores generales, neutros y amoniacales	1. Amoniac Casablanca	6/7	Ag	0,000 - 0,000	Adecuado
			Ag. Est	0,035 - 0,051	Inadecuado
			Cu	0,740 - 4,098	Inadecuado
	2. Celea Limpiador Floral	5	Ag	0,000 - 0,004	Adecuado
			Ag. Est	0,000 - 0,004	Adecuado
			Cu	0,019 - 0,028	Adecuado
	3. Amoniac Perfumado Gerpa	7	Ag	0,000 - 0,000	Inadecuado
			Ag. Est	0,010 - 0,061	Inadecuado
			Cu	0,177 - 0,357	Inadecuado
	4. Celea Quitatintas	9	Ag	0,022 - 0,032	Adecuado
			Ag. Est	0,026 - 0,032	Temporal
			Cu	0,159 - 0,213	Inadecuado
Desinfección / Limpieza potente	5. Lejía El León	5/6	Ag	0,128 - 0,166	Inadecuado
			Ag. Est	0,137 - 0,182	Inadecuado
			Cu	0,470 - 1,050	Inadecuado
	6. Lejía Gerpa	5/6	Ag	0,040 - 0,122	Inadecuado
			Ag. Est	0,107 - 0,188	Inadecuado
			Cu	0,382 - 0,770	Inadecuado
	7. Celea Gel Detergente Clorado	7	Ag	0,000 - 0,001	Adecuado
			Ag. Est	0,004 - 0,018	Adecuado
			Cu	0,015 - 0,087	Adecuado
Abrillantadores, ceras y cristalizadores	8. Doril Muebles Superceras	6/7	Ag	0,000 - 0,000	Adecuado
			Ag. Est	0,000 - 0,001	Adecuado
			Cu	0,004 - 0,008	Adecuado
	9. Vinfer Abrillantador Suelo	5	Ag	0,000 - 0,308	Adecuado
			Ag. Est	0,031 - 0,572	Adecuado
			Cu	0,011 - 0,666	Inadecuado
	10. Gala Cristalizador Suelo Máquina	2/3	Ag	0,000 - 0,002	Adecuado
			Ag. Est	0,026 - 0,044	Adecuado
			Cu	0,175 - 0,240	Inadecuado
	11. Cera Blanca Saniwash	6	Ag	0,001 - 0,007	*
			Ag. Est	0,002 - 0,007	*
			Cu	0,011 - 0,027	*
	12. Detergente Madera Saniwash	6	Ag	0,004 - 0,007	Adecuado
			Ag. Est	0,001 - 0,020	Adecuado
			Cu	0,005 - 0,041	Adecuado
	13. Limpiacristales	5	Ag	0,000 - 0,001	Adecuado
			Ag. Est	0,007 - 0,014	Adecuado
			Cu	0,017 - 0,018	Adecuado

Desengrasantes	14. Basic 60	9	Ag	0,000 - 0,004	Adecuado
			Ag. Est	0,006 - 0,019	Adecuado
			Cu	0,100 - 0,154	Adecuado
	15. Celea Desengrasante General	9	Ag	0,000 - 0,007	Adecuado
			Ag. Est	0,009 - 0,012	Adecuado
			Cu	0,109 - 0,142	Inadecuado
Friegasuelos	16. Basic 30 Friegasuelos Pool Chemical	5	Ag	0,000 - 0,001	Adecuado
			Ag. Est	0,000 - 0,007	Adecuado
			Cu	0,010 - 0,015	Adecuado
	17. Friegasuelos Neutro Buga Clean	5	Ag	0,000 - 0,005	Adecuado
			Ag. Est	0,001 - 0,036	Adecuado
			Cu	0,006 - 0,014	Adecuado
	18. Mopa Limp Pool Chemical	5	Ag	0,116 - 0,526	Adecuado
			Ag. Est	0,062 - 0,284	Adecuado
			Cu	0,049 - 0,137	Adecuado
	19. Friegasuelos Pool Chemical	5	Ag	0,000 - 0,002	Adecuado
			Ag. Est	0,004 - 0,006	Adecuado
			Cu	0,017 - 0,114	*
Higiene personal / sanitaria	20. B-5 Gel de Manos Azul	5/6	Ag	0,000 - 0,017	Adecuado
			Ag. Est	0,013 - 0,006	*
			Cu	0,015 - 0,045	*
	21. SCProfessional Clear Foam Pure -Deb Skincare	5	Ag	0,007 - 0,014	Adecuado
			Ag. Est	0,011 - 0,013	Adecuado
			Cu	0,028 - 0,037	Adecuado
	22. Jabón de Manos	4/5	Ag	0,000 - 0,001	Adecuado
			Ag. Est	0,006 - 0,011	Adecuado
			Cu	0,020 - 0,023	*
Lavavajillas manual	23. Celea Lavavajillas Manual	5/6	Ag	0,000 - 0,002	Adecuado
			Ag. Est	0,008 - 0,026	*
			Cu	0,019 - 0,029	*
	24. Basic 70 Lavavajillas Manual	5/6	Ag	0,000 - 0,000	Adecuado
			Ag. Est	0,002 - 0,011	*
			Cu	0,008 - 0,011	Temporal

* Resultado descartado, aparentemente existió contacto directo entre el producto de limpieza y alguna de las muestras metálicas

Tabla 2.- Ganancia de masa experimentada por las muestras de plata esterlina (Ag Est.), plata (Ag) y cobre (Cu) tras ensayar los productos de limpieza agrupados por categoría funcional, junto con los valores de pH correspondientes y la evaluación visual del MET: adecuado (sin corrosión), temporal (corrosión ligera) e inadecuado (elevada presencia de corrosión)

guías del MET. Para la interpretación de los resultados, se ha adoptado un criterio conservador: se consideró que un producto de limpieza es adecuado sólo si ninguno de los metales ensayados (plata, cobre y plata esterlina) mostraba signos de deterioro visual. Conviene destacar que esta evaluación se realizó mediante observación directa de las muestras metálicas. Si bien las fotografías son una referencia representativa del deterioro, no sustituyen a la observación visual, que permite apreciar características como la pérdida de brillo, la textura de los productos de corrosión o la distinción entre reflejos superficiales y deterioro real (Díaz *et al.* 2024).

En la Tabla 3 se muestran las fotografías de las muestras originales de plata, plata esterlina y cobre, tomadas antes del ensayo. Debido al elevado número de productos de limpieza ensayados, se presentan únicamente una selección representativa: un producto de uso adecuado (Celea Limpiador Floral) en la Tabla 4, y dos productos no adecuados (Lejía El León y Amoniaco Casablanca) en las Tablas 5 y 6, respectivamente. Esta selección se realizó para ilustrar los comportamientos claramente

diferenciados, permitiendo una interpretación más directa y comprensible de los efectos de los productos sobre las muestras metálicas.

Los posibles compuestos volátiles emitidos por el Limpiador Floral Celea (producto 2) no generaron signos de deterioro sobre las muestras de plata, cobre y plata esterlina, indicando un comportamiento compatible con metales patrimoniales, por lo que se considera adecuado para su uso en entornos museísticos. El incremento de masa asociado a posibles productos de corrosión fue despreciable [Tabla 2] y, además, no se observaron signos de corrosión ni cambios de color en ninguna de las muestras metálicas ensayadas (plata, cobre y plata esterlina) [Tabla 4].

Los productos de limpieza nº 5 (Lejía El León) y nº 1 (Amoniaco Casablanca) provocan un notable incremento de masa y corrosión visible en las muestras metálicas, especialmente en los de plata esterlina y cobre, lo que evidencia su incompatibilidad con materiales patrimoniales [Tablas 5-6]. Por esta razón, su uso debe

	<i>Muestras originales</i>	
Ag		
Ag. Est		
Cu		

Tabla 3.- Fotografías de las muestras originales de plata, plata esterlina y cobre antes de ser ensayadas.

	<i>2. Celea Limpiador Floral: USO APTO</i>	
Ag		
	Adecuado	Adecuado
Ag. Esterlina		
	Adecuado	Adecuado
Cu		
	Adecuado	Adecuado

Tabla 4.- Fotografías de las muestras de plata, cobre y plata esterlina tras ensayar el producto de limpieza 2, Celea Limpiador Floral, con evaluación visual según MET: adecuado (sin corrosión), temporal (corrosión ligera) e inadecuado (elevada presencia de corrosión).

	5. Lejía El León: USO INADECUADO	
Ag		
	Inadecuado	Inadecuado
Ag. Esterlina		
	Inadecuado	Inadecuado
Cu		
	Inadecuado	Inadecuado

Tabla 5.- Fotografías de las muestras de plata, cobre y plata esterlina tras ensayar el producto de limpieza 5, Lejía El León, con evaluación visual según MET: adecuado (sin corrosión), temporal (corrosión ligera) e inadecuado (elevada presencia de corrosión).

	1.Amoniaco Casablanca: USO INADECUADO	
Ag		
	Adecuado	Adecuado
Ag. Esterlina		
	Inadecuado	Inadecuado
Cu		
	Inadecuado	Inadecuado

Tabla 6.- Fotografías de las muestras de plata, cobre y plata esterlina tras ensayar el producto de limpieza 1: amoníaco Casablanca, con evaluación visual según MET: adecuado (sin corrosión), temporal (corrosión ligera) e inadecuado (elevada presencia de corrosión).

evitarse en cualquier zona donde pueda haber exposición de objetos patrimoniales, incluyendo suelos o superficies próximas a las áreas de exposición. La efectividad de esta restricción depende del espacio, su volumen, ventilación y proximidad de las colecciones. Esta situación plantea un desafío para el personal de limpieza, que debe recurrir a productos menos eficaces desde el punto de vista higiénico, pero más seguros para la conservación preventiva.

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos, se ha elaborado la Tabla 7, que resume la idoneidad de los productos de limpieza ensayados. En aquellos casos en los que el producto de limpieza se considere inadecuado, se indica entre paréntesis el metal o metales que han mostrado deterioro.

En resumen, los productos de limpieza que han resultado inadecuados se concentran en dos categorías principales: por un lado, los limpiadores generales neutros y amoniacales, que incluyen el producto 1 (Amoniaco

Casablanca), el producto 3 (Amoniaco Perfumado Gerpa) y el producto 4 (Celea Quitatintas); y por otro, los productos clasificados como de desinfección o limpieza potente, representados por el producto 5 (Lejía El León) y el producto 6 (Lejía Gerpa).

Por tanto, los productos amoniacales, así como las lejías por su acción oxidante, resultan incompatibles para los objetos patrimoniales de plata. En el caso del producto 4 (Celea Quitatintas), su incompatibilidad se debe a su formulación a base de tensioactivos no iónicos con carácter básico. En cualquier caso, estos productos de limpieza solo se utilizan en aseos alejados de las zonas de exposición y, además, existen alternativas ensayadas [Tabla 7] más seguras dentro de las categorías anteriores. Sin embargo, sirven como alerta en caso de que dichos productos lleguen a usarse en zonas próximas a las áreas de exposición de un museo.

Conclusiones

Esta investigación ha permitido profundizar en el ámbito de la conservación preventiva en ambientes museísticos, mediante el análisis del impacto que distintos productos de limpieza pueden tener sobre metales presentes en nuestro patrimonio, como la plata, el cobre y la plata esterlina. La colaboración, con los museos participantes y las empresas adjudicatarias de los servicios de limpieza del Museo Arqueológico Nacional, el Museo Sefardí de Toledo y el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (MUNCYT) permitió obtener 24 productos de limpieza empleados en condiciones reales. Entre los productos evaluados, los que presentan mayor corrosividad para la plata, el cobre y la plata esterlina son aquellos a base de amoniaco y lejía, categorizados como limpiadores generales, neutros y amoniacales, así como productos de desinfección o limpieza potente. Aunque su uso se restringe a los aseos alejados de las salas de exposición, un uso incorrecto podría contribuir al deterioro del patrimonio cultural metálico. El resto de productos de limpieza evaluados pueden considerarse, en general, aptos para la plata pura y la plata esterlina. No obstante, el cobre es el metal que presenta mayor susceptibilidad a la corrosión frente a los compuestos volátiles liberados por los productos de limpieza. En conjunto, este trabajo proporciona información sobre qué productos de limpieza específicos son más adecuados para su uso en museos, constituyendo una pequeña base de datos que podrá ser utilizada en un futuro para desarrollar recomendaciones, protocolos o guías de buenas prácticas.

Es fundamental poder informar al personal que desempeña tareas de limpieza e integrarlo en la estrategia de la conservación preventiva. Según los museos participantes, sería recomendable organizar talleres formativos en los que se ilustre, mediante ejemplos reales, el efecto de determinados productos de limpieza sobre el patrimonio cultural metálico.

CATEGORÍA	NOMBRE PRODUCTO	RECOMENDACIÓN DE USO
Limpiadores generales, neutros y amoniacales	1. Amoniaco Casablanca	NO (Cu, Ag, Ag Est)
	2. Celea Limpiador Floral	SÍ
	3. Amoniaco Perfumado Gerpa	NO (Cu, Ag, Ag Est)
	4. Celea Quitatintas	NO (Cu)
Desinfección / Limpieza potente	5. Lejía El León	NO (Cu, Ag, Ag Est)
	6. Lejía Gerpa	NO (Cu, Ag, Ag Est)
	7. Celea Gel Detergente Colorado	SÍ
Abrillantadores, ceras y cristalizadores	8. Doril Muebles Superceras	SÍ
	9. Vinfer Abrillantador Suelo	SÍ
	10. Gala cristizador suelo máquina	NO (Cu)
	11. Cera Blanca Saniwash	SÍ
	12. Detergente Madera Saniwash	*
	13. Limpiacristales	SÍ
Desengrasantes	14. Basic 60	SÍ
	15. Celea Desengrasante General	*
Friegasuelos	16. Basic 30 Friegasuelos	SÍ
	17. Friegasuelos Neutro Buga Clean	SÍ
	18. Mopa Limp Pool Chemical	SÍ
	19. Friegasuelos Pool Chemical	*
Higiene personal / sanitaria	20. B-5 Gel de Manos Azul	*
	21. SC Professional Clear Foam Pure	SÍ
	22. Jabón de Manos	*
Lavavajillas manual	23. Celea Lavavajillas Manual	*
	24. Basic 70 Lavavajillas Manual	*

*Existió contacto directo entre el producto de limpieza y alguno de las muestras metálicas

Tabla 7.- Idoneidad de los productos de limpieza ensayados.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación POP – Protección de objetos de plata en colecciones de museos (PID2023-152322NA-I00) financiado por MICIU/AEI /10.13039/501100011033 y por FEDER, UE, coordinado por el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CSIC), con la participación del Museo Arqueológico Nacional, el Museo Sefardí de Toledo y la Universidad de Castilla-La Mancha, y del proyecto PIE 202360E133 financiado por el CSIC. Los autores agradecen también la colaboración del Museo Nacional de Ciencia y Tecnología, así como a las empresas de limpieza de los diferentes museos que han contribuido facilitando los productos que emplean en su labor, lo que ha resultado de vital importancia.

Referencias

- AMERICAN INSTITUTE FOR CONSERVATION (AIC) (2020). *Copper corrosion library. Appendix: Photos of scored coupons*. En: AIC Wiki: A collaborative knowledge resource.
- BAMBERGER, J.A., HOWE, E.G. y WHEELER, G. (1999). "A variant Oddy test procedure for evaluating materials used in storage and display cases", *Studies in Conservation*, 44(2): 86–90.
- LAFUENTE FERNÁNDEZ, D., CANO DÍAZ, E. y GÓMEZ ESPINOSA, T. (2013). "Degradación del patrimonio metálico causada por ácidos orgánicos en museos y exposiciones: El caso del Museo de América (Madrid)", En: *IV Congreso Latinoamericano de Conservación y Restauración de Metal*, 141–152.
- DÍAZ, I. y CANO, E. (2022). "Quantitative Oddy test by the incorporation of the methodology of the ISO 11844 standard: A proof of concept", *Journal of Cultural Heritage*, 57: 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.08.001>
- DÍAZ, I., ALVAREZ-MARTIN, A., GRAU-BOVÉ, J., THICKETT, D., VILARIGUES, M. y FONTANA, D. (2024). "Review and interlaboratory comparison of the Oddy test methodology", *Heritage Science*, 12: 95. <https://doi.org/10.1186/s40494-024-01174-9>
- GOBIERNO VASCO (n.d.). *Pliego de bases técnicas: Servicio de limpieza del Museo Vasco de Bilbao*. Portal de Contratación Pública de Euskadi.
- INSTITUTO DEL PATRIMONIO CULTURAL DE ESPAÑA (2020). *Recomendaciones sobre procedimientos de desinfección en bienes culturales con motivo de la crisis por COVID-19*. Ministerio de Cultura y Deporte, 16 de abril de 2020. Disponible en: <https://ipce.cultura.gob.es/noticias/2020/2020-04-16-recomendaciones-covid-19.html> [consulta: 16/09/2025].
- INSTITUTO LEONÉS DE CULTURA (n.d.). *Pliego de prescripciones técnicas para la contratación del servicio de limpieza de las instalaciones del Instituto Leonés de Cultura*. Diputación de León.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) (2020). ISO 11844-2:2020. *Corrosion of metals and alloys — Classification of low corrosivity of indoor atmospheres — Part 2: Determination of corrosion attack in indoor atmospheres*. Geneva: ISO.
- KATSANOS, N.A., DE SANTIS, F., CORDOBA, A., ROUBANI-KALANTZOPOULOU, F. y PASELLA, D. (1999). "Corrosive effects from the deposition of gaseous pollutants on surfaces of cultural and artistic value inside museums", *Journal of Hazardous Materials*, 64(1): 21–36. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(98\)00241-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(98)00241-6)
- KORENBERG, C., KEABLE, M., PHIPPARD, J. y DOYLE, A. (2018). "Refinements introduced in the Oddy test methodology", *Studies in Conservation*, 63: 2–12. <https://doi.org/10.1080/00393630.2016.1267112>
- MARQUARDT, L., PHANEUF, R.J. y O'HERN, T.J. (2015). "Protecting silver cultural heritage objects with atomic layer deposited coatings", *Heritage Science*, 3: 37. <https://doi.org/10.1186/s40494-015-0066-x>
- MINISTERIO DE CULTURA (2023). *Pliego de prescripciones técnicas n.º J230030: Servicio de limpieza en los museos estatales de Madrid*. Madrid: Plataforma de Contratación del Sector Público.
- MOLINA, M.T., DÍAZ, I., RAMÍREZ, B. y CANO, E. (2023). "Estrategias innovadoras para la conservación preventiva de los objetos metálicos en colecciones de museos", *Anejos a Cuadernos de Prehistoria y Arqueología*, 6.
- MOLINA, M.T., CANO, E., LLORENTE, I. y RAMÍREZ-BARAT, B. (2023). "Corrosion risk to metal-based artefacts in a scientific and technical museum: An assessment of environmental and exhibition conditions", *Materials*, 16(12): 4239. <https://doi.org/10.3390/ma16124239>
- MUSEO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (MUNCYT) (2023). *Pliego de prescripciones técnicas del servicio de limpieza del MUNCYT (Exp. MUNCYT/2023/CL)*. Madrid: Museo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- MUSEO SEFARDÍ (2022). *Pliego de prescripciones técnicas del contrato de limpieza del Museo Sefardí (Exp. MS/2022/CL)*. Toledo: Museo Sefardí.
- ODDY, W.A. (1973). "An unsuspected danger in display", *The Museums Journal*, 73(1): 27–28.
- ORTIZ CORONA, J. (2022). *Estudio del empañamiento de la plata en presencia de sulfuros, para la conservación y restauración de piezas históricas y arqueológicas*. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.
- SILVER CORROSION LIBRARY (2020). Appendix: Photos of scored coupons. [en línea] *American Institute for Conservation (AIC). Wiki: A collaborative knowledge resource*. Disponible en: https://www.conservation-wiki.com/wiki/Silver_Corrosion_Library [consulta: 14/07/2025].

TÉTRÉAULT, J. (2003). *Airborne pollutants in museums, galleries and archives: Risk assessment, control strategies and preservation management*. Ottawa: Canadian Conservation Institute.

Autor/es



María García Ortúzar

mariagarciaortuzar@gmail.com

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CSIC)

Graduada en Conservación y Restauración de Bienes Culturales por la Universidad de Granada, formación que le permitió adentrarse en el estudio de las técnicas, materiales y procesos vinculados a la preservación del patrimonio. Posteriormente amplió su especialización con un Máster en Conservación del Patrimonio Cultural en la Universidad Complutense de Madrid. Como parte de su trayectoria, realizó prácticas y TFM en el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CSIC), donde tuvo la oportunidad de participar en el proyecto de investigación: *La protección de objetos de plata en colecciones de museos* (POP) (PID2023-152322NA-I00). Este proyecto se enfoca en la conservación de los objetos de plata que forman parte de las colecciones de museos.



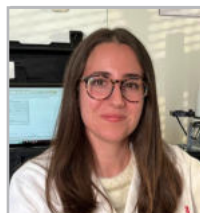
Iván Díaz Ocaña

ivan.diaz@csic.es

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

<https://orcid.org/0000-0003-3981-985X>

Técnico especializado de OPIs en el grupo de investigación Corrosión atmosférica y Patrimonio Cultural (CAPAC) del CENIM-CSIC. Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid, su tesis fue una de las primeras investigaciones en España sobre la corrosión atmosférica de aceros corten avanzados enriquecidos en níquel, con estancias en Old Dominion University (EE.UU), Universidad de Antioquia (Colombia) y University of California (EE.UU). Centra su labor en la conservación del patrimonio cultural metálico, habiendo participado en proyectos internacionales y nacionales como CULT-STRAT (2007) —internacional, dedicado a evaluar el impacto de la contaminación atmosférica en materiales y objetos del patrimonio cultural europeo—, y los proyectos nacionales AIR ARTE (2016) y POP (2025), centrados en la protección y conservación del patrimonio cultural en museos nacionales. Lidera el servicio científico-técnico del test de Oddy dentro del laboratorio de estudio del patrimonio cultural metálico del grupo CAPAC, aplicando la norma ISO 11844 para su evaluación cuantitativa. Ha publicado alrededor de 45 artículos científicos indexados y ha dirigido una tesis doctoral sobre pátinas artificiales en esculturas contemporáneas de acero corten.



María Teresa Molina

mt.molina@csic.es

Instituto de Geociencias IGEO, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y Universidad Complutense de Madrid (UCM)
<https://orcid.org/0000-0003-1183-5559>

Graduada en Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural y máster y doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales. Su trayectoria investigadora comenzó en 2017 como técnica de investigación en el Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Granada (UGR). En 2019 se trasladó a Madrid para trabajar en el CENIM-CSIC en la conservación y protección de metales del patrimonio científico-técnico, habiendo colaborado con varios museos con este tipo de colecciones. Actualmente es investigadora postdoctoral Juan de la Cierva en el IGEO-CSIC/UCM. Su investigación actual se basa en la investigación de recubrimientos protectores inteligentes para aplicar al patrimonio, así como nuevos morteros de restauración elaborados con materiales sostenibles y reciclados. Ha colaborado con varias instituciones internacionales como L'Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale (ISPC) de Florencia, Italia o La Haute Ecole Arc Conservation-restauration (HE-Arc CR) de Neuchâtel, Suiza.



Blanca Ramírez Barat

blanca.ramirez@csic.es

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

<https://orcid.org/0000-0001-5306-4057>

Lda. en Bellas Artes, Grado en Química y Dra. Ciencia e Ingeniería de Materiales, su actividad profesional ha estado ligada a la gestión y la investigación científica. Desde el año 2013 forma parte del grupo Corrosión atmosférica y Patrimonio Cultural (CAPAC) del CENIM-CSIC, donde es investigadora permanente desde 2023. Su actividad investigadora se centra en el estudio y conservación del patrimonio cultural metálico, con especial atención a la aplicación de técnicas electroquímicas para el estudio, evaluación y diagnóstico. Ha participado en numerosos proyectos, congresos y redes y otras iniciativas científicas nacionales e internacionales, entre las que se incluyen la redacción y seguimiento del Plan Nacional de Investigación en Conservación (PNIC) del Ministerio de Cultura, la participación en Patrimonio Abierto: Investigación y Sociedad (PTI-PAIS) o la puesta en marcha de la European Research Infrastructure for Heritage Science (ERIHS). Entre sus contribuciones más recientes destaca el proyecto POP (PID2023-152322NA-I00) donde es investigadora principal.



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1441>

www.revista@ge-iic.com



Edición digital del GEIC