



CONSERVAR PATRIMÓNIO

ARP · Associação Profissional
de Conservadores-Restauradores
de Portugal
conservarpatrimonio.pt

Rua Fialho de Almeida,
n.º 14 – 2.º Esq.
1070-129 Lisboa

Quadrimestral
Triannual
Reg. 127342

Setembro
September
2026

53

Fotografias da capa Cover photographs

Between function, communication and conservation:
reflections on the conservation of contemporary scientific
design objects –the case of Fertility Object by Susana Soares,
pp. 197-211.

As opiniões manifestadas na revista são da exclusiva
responsabilidade dos seus autores e não traduzem
necessariamente a opinião da ARP, da Direcção da revista
ou do Conselho Editorial.

The opinions published in this journal are those of the
authors alone and do not necessarily translate the views or
opinions of ARP, the Editors of the journal or of its Editorial
Board.



Licenciado sob uma Licença Creative Commons
Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.
Para ver uma cópia desta licença, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.pt>

This work is licensed under the Creative Commons
Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>

FICHA TÉCNICA · JOURNAL INFORMATION

CONSERVAR PATRIMÓNIO

Revista académica com avaliação por pares

Academic peer-reviewed journal

Edição, propriedade e redação *Publisher and editorial office*

Associação Profissional de Conservadores-Restauradores de Portugal (ARP)

Rua Fialho de Almeida, n.º 14, 2.º esq., 1070-129 Lisboa, Portugal

NIPC VAT registration number n.º 503 602 981

Periodicidade *Frequency*

Quadrimestral *Triannual*

Registo ERC 127342

Estatuto Editorial

<https://conservarpatrimonio.pt/ficha>

ISSN

2182-9942 edição digital *digital edition*

DOI

<https://doi.org/10.14568/cp>

Directora *Director*

ELIN FIGUEIREDO

Directores-adjuntos *Co-directors*

ANA CLARO

SÍLVIA O. SEQUEIRA

Assistente editorial *Editorial assistant*

SALIMA REHEMTULA

Paginação *Page design*

ANA CLARO

ELIN FIGUEIREDO

SÍLVIA O. SEQUEIRA

EDITORES, COMISSÃO DE REDACÇÃO E CONSELHO EDITORIAL

EDITORS, COPY EDITING BOARD AND EDITORIAL BOARD

Editores-chefes *Editors-in-chief*

ELIN FIGUEIREDO

Departamento de Conservação e Restauro, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Portugal

Centro de Investigação de Materiais, Instituto de Nanoestruturas, Nanomodelação e Nanofabricação (CENIMAT/i3N), Universidade NOVA de Lisboa, Portugal

SÍLVIA O. SEQUEIRA

Laboratório José de Figueiredo, Museus e Monumentos de Portugal, Portugal

LAQV-Requimte | CHARM - Cultural Heritage and Responsive Materials, FCT - Universidade NOVA de Lisboa, Portugal

ANA CLARO

CHAM – Centro de Humanidades, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade NOVA de Lisboa, Portugal

Editores associados *Associate editors*

ALEXANDRA RODRIGUES

Unidade de Investigação VICARTE - Vidro e Cerâmica para as artes, Universidade NOVA de Lisboa, Portugal

ÂNGELA FERRAZ

Tikva Museu Judaico Lisboa, Portugal

Centro de Tecnologia, Restauro e Valorização das Artes (Techn&Art), Instituto Politécnico de Tomar, Portugal

CRISTIANA NUNES

Instituto de Teoria e Mecânica Aplicada da Academia de Ciências da Republica Checa, Praga, República Checa

EVA MARIASOLE ANGELIN

Technical University of Munich, Munique, Alemanha

ISABEL TISSOT

Department of Physics, NOVA School of Science and Technology, Universidade NOVA de Lisboa, Portugal

LIBPhys-UNL – Laboratory for Instrumentation, Biomedical Engineering and Radiation Physics, Universidade NOVA de Lisboa, Portugal

MÁRCIA ALMADA

CECOR – Centro de Conservação-Restauração de Bens Culturais, Escola de Belas Artes, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

MARIA JOÃO FERREIRA

CHAM – Centro de Humanidades, FCSH, Universidade NOVA de Lisboa, Lisboa, Portugal
Museu de São Roque, Lisboa, Portugal

MATHILDA LARSSON COUTINHO

Laboratório HERCULES, Universidade de Évora, Portugal

THIAGO SEVILHANO PUGLIERI

Department of Art History, University of California, Los Angeles (UCLA) & UCLA/Getty Interdepartmental Program in the Conservation of Cultural Heritage, USA

VALENTINA PINTUS

Institute for Natural Sciences and Technology in the Arts – Academy of Fine Arts Vienna, Austria

EDITORES, COMISSÃO DE REDACÇÃO E CONSELHO EDITORIAL EDITORS, COPY EDITING BOARD AND EDITORIAL BOARD

Conselho editorial *Editorial board*

ANA ZÉLIA MILLER

IRNAS-CSIC, Sevilha, Espanha

Laboratório HERCULES, Universidade de Évora, Portugal

ANDRZEJ KADŁUCZKA

Institute of History of Architecture and Preservation of Monuments, Faculty of Architecture,
Krakow University of Technology, Poland

CESÁREO SAIZ-JIMENEZ

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla – Consejo Superior de
Investigaciones Científicas (IRNAS-CSIC), Sevilha, España

CHRISTIAN DEGRIGNY

Haute École de Conservation-Restauration Arc, La Chaux-de-Fonds, Suisse

M.^a JOSÉ GONZÁLEZ LÓPEZ

Departamento de Pintura, Facultad de Bellas Artes, Universidad de Sevilla, España

MÁRIO MENDONÇA DE OLIVEIRA

Universidade Federal da Bahia, Brasil

MATHIEU THOURY

IPANEMA, CNRS, Ministère de la Culture et de la Communication, Université de Versailles
Saint-Quentin-en-Yvelines, Université Paris-Saclay, France

NICOLA MASINI

CNR, Institute of Heritage Science, Baragiano Scalo, Italy

ROSÁRIO VEIGA

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

SALVADOR MUÑOZ VIÑAS

Universitat Politècnica de València, España

TIAGO MIGUEL FERREIRA

University of the West of England - UWE Bristol, United Kingdom University
of Coimbra, Portugal

TOM LEARNER

Getty Conservation Institute, USA

VÍTOR SERRÃO

Instituto de História da Arte, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Portugal

Comissão de redacção *Copy editing board*

ANA CLARO

CHAM – Centro de Humanidades, Faculdade de Ciencias Sociais e Humanas, Universidade
NOVA de Lisboa, Portugal

ELIN FIGUEIREDO

Departamento de Conservação e Restauro, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade
NOVA de Lisboa, Portugal

Centro de Investigação de Materiais, Instituto de Nanoestruturas, Nanomodelação e
Nanofabricação (CENIMAT/i3N), Universidade NOVA de Lisboa, Portugal

EMMANUELLE MEUNIER

Casa de Velázquez, EHEHI, Madrid, Espanha

ILENIA D'ANGELI

Italian Institute of Speleology, Bologna, Itália

LAURA MOURA

Câmara Municipal de Sesimbra, Divisão de Cultura - Museus e Património, Portugal

A revista está indexada ou referenciada nas seguintes bases de dados bibliográficas internacionais:

The journal is abstracted or indexed in the following international bibliographic databases:

- AATA – *Abstracts of International Conservation Literature*, Getty Conservation Institute, <http://aata.getty.edu>
- BCIN – *The Bibliographic Database of the Conservation Information Network*, Canadian Heritage Information Network, <http://www.bcin.ca>
- *Chemical Abstracts*, American Chemical Society, <http://www.cas.org>
- CIRC – *Clasificación Integrada de Revistas Científicas*, EC3METRICS, <https://clasificacioncirc.es>
- Crossref, <http://www.crossref.org>
- CWTS *Journal Indicators*, Leiden University, <http://www.journalindicators.com>
- DOAJ – *Directory of Open Access Journals*, <http://www.doaj.org>
- EBSCO Art Source, <https://www.ebscohost.com>
- ERIH PLUS – *European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences*, Norwegian Social Science Data Services, <https://dbh.nsd.uib.no/publiseringskanaler/erihplus/>
- Google Scholar, <http://scholar.google.com>
- *Index Copernicus Journals Master List*, <http://journals.indexcopernicus.com>
- Ingenta Connect, <http://www.ingentaconnect.com>
- Latindex – *Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, <http://www.latindex.unam.mx>
- MIAR – *Matriz de Información para el Análisis de Revistas*, Universitat de Barcelona, <http://miar.ub.edu>
- Microsoft Academic, <https://academic.microsoft.com>
- OpenAIRE – *Open Access Infrastructure for Research in Europe*, <https://explore.openaire.eu>
- REDIB – *Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico*, <http://www.redib.org>
- Scimago, <http://www.scimagojr.com>
- Scopus, Elsevier, <https://www.scopus.com>
- Web of Science – *Emerging Sources Citation Index (ESCI)*, Clarivate Analytics, <https://webofknowledge.com>

Artigos Articles

- 8 ÂNGELA FERRAZ, RICARDO TRIÃES**
Policies and practices for the preservation of community-based murals: the case of Riachos, Portugal
Políticas e práticas para a preservação de murais comunitários: o caso de Riachos, Portugal
- 22 ROSARIO BLANC, ELOISA MANZANO, JOSÉ LUIS VÍLCHEZ**
Non-invasive pXRF technique for identifying pigments in multilayered artistic paintings
pXRF: técnica não invasiva para identificar pigmentos em pinturas artísticas com multicamadas
- 40 MARÍA ALEJANDRA GONZALEZ, NELSY R. PINTO-SANCHEZ, MARÍA CAMILA PATIÑO RAMIREZ**
Aplicación de luz UV-C 222 nm como estrategia para el control del biodeterioro en especímenes preservados en líquido
Aplicação de luz UV-C 222 nm como estratégia para o controlo da biodeterioração em espécimes preservados em líquido
Application of UV-C 222 nm light as a strategy for the control of biodeterioration in specimens preserved in liquid
- 52 MARIA GIANNOULAKI, MARIA PETROU**
Balancing artist's intent and durability: conserving a corroded outdoor painted iron sculpture
Equilibrando a intenção do artista e a durabilidade: conservação de uma escultura exterior de ferro pintado corroída
- 67 PAULA REDWEIK, JOANA AMARAL, ISABEL TISSOT, FRANCISCO CHORRO-DOMINGUEZ, M. JOSÉ MARÍN-MIRANDA, SAMUEL GESSNER**
Digital modelling as a tool for multidisciplinary study –the case of a rare sixteenth-century metallic globe
Modelação digital como ferramenta para estudo multidisciplinar –o caso de um raro globo metálico quinhentista
- 83 MIRIAM GARAGORRY, SONIA SANTOS**
El bol de Llanes: primeras aproximaciones sobre sus yacimientos y empleo en el dorado de los retablos españoles
O bolo de Llanes: primeiras aproximações sobre os seus jazigos e o uso no douramento dos retábulos espanhóis

- 102 ANA YERVID RODRÍGUEZ SÁENZ, BERNARDO MELÉNDEZ ÁLVAREZ, PEDRO MARÍA ARGÜELLO GARCÍA**
Diversidad y patogenicidad potencial de hongos microscópicos en el Parque Museo Arqueológico de Tunja de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Diversidade e potencial patogenicidade de fungos microscópicos no Parque Museu Arqueológico de Tunja da Universidade Pedagógica e Tecnológica da Colômbia
Diversity and potential pathogenicity of microscopic fungi in the Archaeological Museum Park of Tunja at the Pedagogical and Technological University of Colombia
- 114 ARTEMIOS OIKONOMOU, GEORGIOS P. MASTROTHEODOROS, CHRISTOS KARYDIS**
The Coptic textiles of the Paul and Alexandra Canellopoulos Museum: an analytical approach
Os têxteis coptas do Museu Paul e Alexandra Canellopoulos: uma abordagem analítica
- 131 INÊS SOARES, JOANA TOMÁS FERREIRA, MARIANA PASSOS, SUSANA FRANÇA DE SÁ**
Blooming in polyurethane-coated fabrics: a literature review of a conservation challenge in collections
Blooming em tecidos revestidos com poliuretano: uma revisão da literatura sobre um desafio de conservação em coleções
- 147 JUAN-SALVADOR SANABRIA-FERNÁNDEZ, BEATRIZ PRADO-CAMPOS**
La representación geométrica y gráfica de bienes escultóricos: una propuesta de fichas normalizadas mediante la revisión de criterios y normas UNE e ISO
Representação geométrica e gráfica de bens escultóricos: uma proposta de fichas normalizadas a partir da revisão de critérios e normas UNE e ISSO
Geometric and graphic representation of sculptural heritage: standardised record sheets based on UNE and ISO criteria and standards

Notas Notes

- 161 MARÍA TRIGO-PEINADO, ELISA-ISABEL GAVARI-STARKIE**
La regulación profesional del conservador-restaurador en el contexto ibérico: análisis comparativo España-Portugal (2024)
Regulamentação profissional dos conservadores-restauradores no contexto ibérico: análise comparativa Espanha-Portugal (2024)
Professional regulation of conservation-restorers in the Iberian context: comparative analysis Spain-Portugal (2024)
- 171 FRANCISCO JAVIER FRUTOS ESTEBAN, CARMEN LÓPEZ SAN SEGUNDO**
Linternauta y la normalización de la catalogación técnica de placas de linterna mágica en Portugal
Linternauta e a normalização da catalogação técnica das placas de lanterna mágica em Portugal
Linternauta and the standardisation of the technical cataloguing of magic lantern slides in Portugal

Intervenções Interventions

- 183 ANA VITÓRIA AGUIAR MONTEIRO, JOÃO CURAD'ARS DE FIGUEIREDO JUNIOR, AMANDA CRISTINA ALVES CORDEIRO**
Uso de quelantes em hidrogel para remoção de manchas em uma pintura em têxtil com técnica mista de estampa com ferrugem e aquarela
Use of chelating agents in hydrogel for stain removal on a textile painting with a mixed technique of rust print and watercolor
- 197 INÊS COUTINHO, CRISTIANA DAMAS, SUSANA FRANÇA DE SÁ**
Entre função, comunicação e conservação: reflexões em torno da conservação de objetos de design científico contemporâneo –o caso de Fertility Object de Susana Soares
Between function, communication and conservation: reflections on the conservation of contemporary scientific design objects –the case of Fertility Object by Susana Soares

Policies and practices for the preservation of community-based murals: the case of Riachos, Portugal

Políticas e práticas para a preservação de murais comunitários: o caso de Riachos, Portugal

ÂNGELA FERRAZ 
RICARDO TRIÃES *

TECHN&ART – Technology,
Restoration and Arts
Enhancement Center, Polytechnic
Institute of Tomar, Estrada da
Serra, Quinta do Contador 2300-
313 Tomar, Portugal

*rtriaes@ipt.pt

Abstract

Community-based murals return numerous positive outcomes to the communities involved. However, these works embody a significant sense of impermanence. They are intricately tied to the ever-changing social context from which they emerge, and their placement in public spaces exposes them to a multiplicity of risks. This article examines policies and practices related to the preservation of community-based murals, deploying the Riachos murals as its case study. This involved comprehensively examining the murals' evolution and gathering data from stakeholders to gain insights into the perceptions of the murals as cultural heritage and the different stances on their perishable nature. This furthermore presents a critical discussion on the key issues involved, with the emphasis placed on the unique character of community-based murals, particularly their dependence on the dynamic social context of their originating community, before calling for a departure from traditional approaches to conservation decision-making.

Resumo

Os murais de base comunitária trazem inúmeros benefícios para as comunidades envolvidas. No entanto, estas obras incorporam um significativo sentido de impermanência. Estão intrinsecamente ligadas ao contexto social em constante mudança do qual emergem e a sua localização em espaços públicos expõe-nas a uma multiplicidade de riscos. Este artigo analisa as políticas e práticas relacionadas com a preservação de murais comunitários, utilizando os murais de Riachos como caso de estudo. Para tal, examinou-se a evolução dos murais e recolheram-se dados junto dos envolvidos, a fim de obter informações sobre as perceções relativamente aos murais enquanto património cultural e as diferentes posições sobre a sua natureza perecível. Apresenta, igualmente, uma discussão crítica sobre as principais questões, destacando-se o carácter único destes murais, em particular, a sua dependência do contexto dinâmico da comunidade de origem, sublinhando-se assim a necessidade de um afastamento das abordagens tradicionais à tomada de decisão de conservação.

KEYWORDS

Murals
Ephemerality
Community
Conservation
Decision-making

PALAVRAS-CHAVE

Murais
Efemeridade
Comunidade
Conservação
Tomada de decisão

Introduction

Community-based murals are commonly defined as public artworks collaboratively created by a group of people to express their shared ideas, values, concerns, experiences, and traditions. These murals often reflect the identity of the local community and can be created in the context of a local festival, to commemorate historical events or to raise public awareness about social issues [1-2]. Displayed in public spaces, such as parks, schools, community centers, and other areas, community-based murals form the streetscape for the daily life ongoing in its locality [3]. Furthermore, because they are painted on the public façades, these murals are available to any bystanders and can be appreciated free of charge, unrestricted by physical barriers and indifferent to distinctions between social classes [3]. Hence, these murals may be considered a democratic art form: the art of, by, and for the people [4].

The literature establishes how communities that implement community mural projects undergo processes of transformation involving a new redefinition of the urban space, not only in terms of urban planning but also in terms of its symbolic and social aspects [5]. There are many studies on the multiple benefits that community-based murals provide to both individuals and the communities and cities where they are located. For example, according to previous research, these murals play an important role in social cohesion and community resilience [6-7]. Some authors recognize how murals encourage connections between people, strengthen social relationships within the community, promote inclusion, and establish processes of dialogue and local consensus [2, 8-9]. In addition to fostering community, these collaborative art initiatives excel in enhancing a physical sense of belonging, promoting personal well-being, and nurturing shared memories and collective identities [1, 10-13]. Community-based murals may also become transformative for their locations in support of local development [14]. It has been acknowledged that murals help to promote neighborhood innovation and growth, facilitate connections between neighbours, provide opportunities for the rehabilitation of degraded areas, and stimulate community pride in common spaces [3, 10].

As a product of community engagement, these murals undergo constant processes of re-definition, resulting from the way they are perceived within the broader spatial and social environments they inhabit. The meanings, values and significance attached to a mural define its longevity [15]. Another factor of impermanence stems from their public locations. Displayed on external walls, and thus subject to extreme environmental conditions, these artworks interlink with an ephemeral character. Previous studies point to the numerous challenges arising in the conservation of murals often executed with non-durable materials and without maintenance protocols [16-21].

As such, murals seem to have a well-established life cycle: they are produced for a reason, maintained for a time, and then repainted, removed, or simply left to decay until they eventually disappear. However, poor conservation can generate negative effects on the aesthetics of their respective locations. Furthermore, when murals start decaying, they can quickly become covered in graffiti or subject to vandalism, which may further detract from the visual appeal of the area. This often becomes interpreted as a sign of neglect and correspondingly confused with a low socioeconomic quality evaluation of these places [1]. As a result, community-based mural projects should incorporate preservation strategies right from the get-go. Unfortunately, what has been observed is that relatively little attention is paid to the maintenance and conservation of these murals at the time of their creation [19, 22].

On the other hand, the creation of a long-term plan for the preservation of community-based murals is fraught with great challenges and involves complex and not always easily resolvable issues. Firstly, the local community has assigned to those mural paintings a set of values and meanings. These murals, as collaborative group work, are both a social product and a process, even though it remains challenging to ensure the engagement of community voices in conservation plans [23]. Furthermore, there are legal issues to consider: who is accountable

for the preservation of this public art? Many of these murals are located on both public and private properties, which deepens the challenges for decision-making.

This article aims to contribute to the discussion on potential strategies and practices for the preservation of community-based murals, using Riachos (Portugal) as a case study. These 72 ethnographic murals, produced since 2012 in the context of a traditional festival with a very marked identity dimension, have become a vital component of the inhabited space. However, several are already in poor shape due to the lack of a preservation strategy, and the community has faced no consensual options for their future.

This case study serves to raise a series of issues: what challenges are posed to the preservation of community-based murals? How can a small community ensure the preservation of its murals and the visual quality of its urban space without significant financial resources? How to define preservation priorities? Is it possible to hear and take into account the voice of every stakeholder? Given the lack of comprehensive literature that explores all these questions in a real-world context, this article aims to provide a critical discussion and a reference framework for policymakers who wish to implement preservation policies in similar small community contexts.

The Riachos' murals: from 2012 to 2022

Riachos is a village in the municipality of Torres Novas, located in central Portugal. The abundant fertility of the lands, which was productive for livestock breeding, and agricultural production, transformed agriculture into the local economy's mainstay [24-25]. As such, the community has sustained a very close identity within this rural environment, maintaining various uses, customs, traditions and rituals belonging to the agricultural matrix in which the locals take great pride. The Cattle Blessing Festival, a religious and ethnographic event, held once every four years in gratitude for the harvests and the health of the cattle, is the best illustration of this feeling.

It was within this context, in 2012, that the first community-based murals were painted in Riachos [26-28]. This was the result of a spontaneous initiative by a group of Santo António neighborhood residents who wanted an original decoration for their streets after having such tremendous success with their sunflowers in vase decorations in the 2008 edition. Thus, the residents of this neighborhood came up with the idea of painting evocative scenes of Riachos traditions on the local walls, in collaboration with an association of local amateur artists and craftsmen, from NAR —Núcleo de Artes de Riachos (Riachos Arts Center) which was especially appealing given that many of the NAR painters also lived in the area. This initiative mobilized around 20 painters who produced about 40 murals focused on the Santo António neighborhood.

The artists were free to choose their topics under the auspices of the "ethnography of the place, uses and customs, memories of the past" [29]. They used old photographs of Riachos' settings, personal experiences, images from the Internet, as well as books engravings, as models, they thought were evocative of these "ancient times" [29]. As such, although most murals represent ethnographic scenes, there are also local figures, religious symbols, legends, and customs (Figure 1).

Most participants were only available to work on painting the murals during the evenings after their regular jobs and on weekends. Furthermore, none of them had previous experience in painting murals and very few had any previous technical or artistic training. The time it required to complete the murals, over several weeks, their public exposure, and the blending of personal skills with the criteria for each scene justified collaboration between painters even though each claimed authorship, signing and occasionally dating their murals [29]. It was also noted that several painters produced more than one mural.



Figure 1. Series of murals in Santo António neighborhood, Riachos.



Figure 2. Mural depicting the folk group “Os Camponeses”, painted by José Triguinho in 2016, Largo M. S. Seródio, Riachos.

In 2012, there were no concerns about the murals’ long-term viability beyond the Blessing Festival. Before starting to paint, the only endeavor was to clean the walls and conceal minor surface defects.

Four years later, in 2016, Riachos was again hosting the festival, and new murals were then painted although with certain differences from the original context that had inspired the 2012 murals. Given the continued existence and positive reception of the previous murals among both the community and its visitors, there was a strong eagerness to create new murals and broaden the range of Riachos’ painted areas. Although only 12 painters were participating this year, the area of intervention in the village was enlarged alongside a better approach to planning and choosing the themes and places to be painted. As a result, 35 new murals were made in central locations, in the most visible public spaces, along the routes leading to the main festival venue, with a special emphasis on the main Riachos’ square. More elaborate murals emerged,

both in terms of themes and styles. Several murals were also painted in honor of real people and specific groups, including individual portraits and a large mural depicting the local folk dancing group (Figure 2).

In some instances, the walls were initially painted white with acrylic paint to prepare them for the final work. Preparatory sketches were then drawn onto this base layer or directly onto the concrete surface. Similar to the process used in 2012, the murals were created using acrylic paints applied with brushes, rollers, or sponges. In addition to the new murals, retouches and some repaints were made to 26 already existing murals. These interventions were frequently made by participants other than the original authors. In 2016, more emphasis was placed on mural preservation. Within this scope, the painters took more care in preparing the walls and protecting the final work with varnish [27-29].

In 2020, due to the Covid19 pandemic, the Cattle Blessing Festival did not take place, hence no murals were painted that year. The festival only took place again in 2022. However, organizing the festival this year was a last-minute decision that did not gain community support, since many wanted it to take place in 2023 to coincide with the centennial of the Riachos' parish. This was the reason why NAR did not engage in any new mural painting campaign. As a result, only three new murals were painted in 2022, all of which were the result of private initiatives, one by the author on the façade of her own house and the other two by the same author at the request of the respective residents.

Perceptions of heritage and the temporal dynamics of murals

The incorporation of these murals into the local cultural heritage is a requirement for their inclusion within the scope of public interest and the implementation of preservation plans. The Riachos' murals are widely treasured by the community not just as a visual storehouse of traditions, but also as a catalyst for local identity and an aggregator of the feeling of belonging in public space [26-29]. Several elements have led to this point: their visual impact on the streets, the captivating imagery of their contents, their strategic placement around the village, and the wealth and variety of the figures depicted [29]. Furthermore, through the subjects depicted, the murals reflect the community's self-perception and the image it has built of itself. This characteristic renders these murals highly recognizable, allowing them to be readily used for self-representational purposes.

The process of producing the murals itself played a vital role in fostering a collective sense of belonging. As the murals were created over several weeks, residents took the opportunity for close observation. This scrutiny was not merely passive as they actively engaged with the painters, making suggestions, comments, and requests. These collaborative interactions cultivated the sense of collective authorship [27, 29].

The community's pride in the murals and their recognition as cultural treasures stems from the fact that Riachos has no other significant built heritage [26]. As such, the murals have played an important part in filling the gap in the local community's heritage, bringing memories of the rural past to the streets and serving as indisputable symbols of this identity that still resonates strongly inside this location.

Regardless, a 2020 survey of local people reported that many residents would agree to the removal of a mural under certain circumstances [26]. According to 46 % of respondents, a mural's poor state of conservation is a valid justification to remove it. This position is of particular relevance given that a significant proportion of these murals present conservation problems due to the prevailing environmental conditions [27] (Figure 3). However, of the 12 murals lost since 2012, only one was destroyed due to its poor state of conservation and, even in this particular case, a new one was painted in its place, by another author, although maintaining the same theme (Figure 4).



Figure 3. Mural painted in 2012, in extremely deteriorated condition and at risk of total loss, due to the detachment of the paint layer.



Figure 4. Example of a disappeared mural, replaced by another in the same location: *a)* The original mural, painted in 2012 by Quinita and C. Lopes (was in very poor condition because it had been painted over a lime-washed wall with a loss of cohesion in the underlying layers); *b)* mural painted in 2016 by Z. M. and C. Lopes over the previous one, with the same theme.

In cases of murals deteriorating, the most common option has been to repaint or retouch the affected murals. As mentioned above, this approach was applied to 26 murals in 2016 and only one in 2022. Retouching and repainting, which are not necessarily done by the original author, have altered the colors and added new features to the composition (Figure 5). These interventions were, in most cases, carried out with the authorization of the authors, which means that these murals now have multiple authorships (signatures) and dates (Figure 6). Consent from the authors seems to be the key to this process. According to the authors consulted, if future conservation and restoration interventions are carried out without the artists' involvement or approval, they retain the right to express their concerns about prospective changes to their murals and the removal of their signatures [29]. While repainting has become a widely practiced and generally accepted procedure, some painters expressed reservations regarding its aesthetic results. José Triguinho stated: "I'm not sure if completely repainted murals look good. They never look the same as the original. I was told that other people could retouch my murals but I think it's worse. I think it's better if it just disappears!" [30].

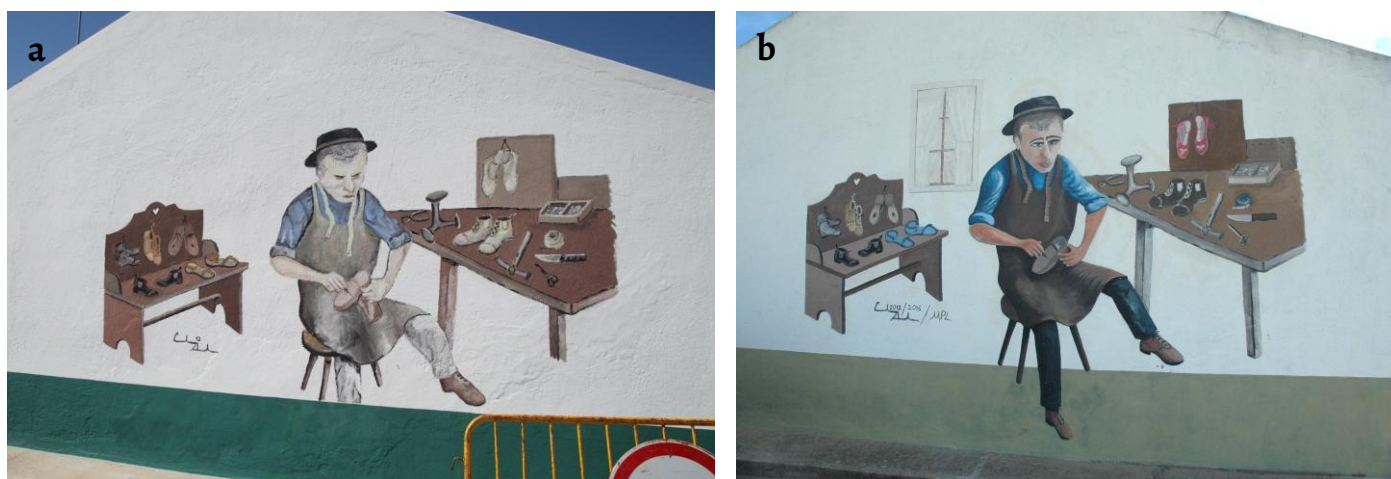


Figure 5. An example of the changes introduced in the murals composition over time: a) Original mural painted in 2012; b) Mural in 2016: new elements were added, and the colors were “revived”.

On the other hand, the 2020 survey showed that 44 % of the respondents agreed with destroying murals whenever the owners of the wall requested it [26]. This means that according to almost half the Riachos’ population, the owner of the architectural structure hosting the mural holds the authority to determine its fate. However, destroying the mural without any formal communication or explanation to the authors does not seem to gain acceptance. For example, in Ana Isabel Moreira’s mural “Fonte da Barreta” [Barreta Fountain], which was painted in 2012 (Figure 7) and was soon destroyed by the wall’s owner for reportedly “not liking the painting”, the author expresses her outrage as follows:

The owner of the house authorized the painting on his wall, the director of NAR invited me and I accepted. I am the painter! I have the right to my work! [...] I never saw the owner, I don't know him and he didn't deign to speak to me or watch while I was painting! It was disrespectful. He destroyed the mural, without my knowledge and any explanation. NAR didn't inform me either.

[31]



Figure 6. An example of a mural with multiple signatures and dates.



Figure 7. Mural “Fonte da Barreta”, replaced by another in the same location: a) mural painted in 2012 by Ana Isabel Moreira; b) mural painted by a different artist, over the previous one.

Another distinct situation was that of the mural entitled “A pastora” [The shepherdess], painted on the side wall of a house in 2012 and destroyed shortly afterwards (Figure 8). According to Pereira Jorge, the NAR president at that time, a few months after the painting was made, problems with water infiltrations were detected. For that reason, the outer wall plaster had to be completely removed for the application of a new coating and, consequently, the mural was destroyed. In this case, the authors were previously informed and understood the circumstances.



Figure 8. Mural “A Pastora” (on the left) destroyed during the building’s repair works to address water infiltrations.



Figure 9. Murals painted in 2012, dedicated to the bread-making cycle. This collection originally consisted of eight murals. Five of them were destroyed to make way for a new residence.

Most murals are located on the walls of private buildings and are therefore subject to the discretion of the owners. Five murals were destroyed because the walls on which they were located were demolished for the construction of new houses (Figure 9). Such a situation seems to gain acceptance in the community, which generally considers the property owner's desire should always prevail [26, 28]. This rationale implies that the discontent of the authors of damaged murals derives from the failure of not being personally informed about the destruction [27].

There seems to be a collective local community awareness about the perishable nature of murals. Despite the application of a layer of varnish to the 2016 murals, to enhance their life span, as previously mentioned, there is an implicit acknowledgment that murals will not endure indefinitely. However, as regards the finitude of the murals, there are ambiguous feelings among their authors. Dadinha, an author of several murals in Riachos, highlights that even during their execution, she and other painters experienced apprehension about the potential disappearance of their work, given the immense effort invested in their creation [30]. Valter Reis holds a contrasting viewpoint and appears to be resigned to the eventual disappearance of his murals: "I know that murals have been varnished, which helps to preserve the work I've done. However, I don't know how much longer it will last. Everything that stands will eventually fall. It's not that it makes me uncomfortable. It's part of the cycle of beginnings and endings, and that's what life teaches us to accept." [30].

Preserving the Riachos murals: exploring critical considerations

This case study provided valuable insights that enabled the engagement in reflections aimed at establishing optimal practices and policies for the preservation of the Riachos murals. We gained a better grasp of the problems and opportunities involved in their long-term preservation after thoroughly investigating the social environment in which they were

produced and to which they belong. The summarized outcomes of these critical reflections are presented below.

Murals are responsive to the dynamic nature of their social context

Timothy Drescher referenced how all community murals are primarily social [17]. Therefore, all preservation decisions must be considered within the dynamic social context in which they are situated. A community is a living, constantly changing entity. Small communities, such as Riachos, can undergo rapid modifications as a result of local events, changing dynamics among members, political movements, economic developments, cultural influences, or even individual choices. As a result, the community's fabric may be rewoven, relationships and power structures may shift, and the group's identity may be redefined.

Furthermore, the murals' cultural significance is not inherent in the murals themselves; rather, it is conferred upon them by all those who hold an interest in them, particularly the local community from which they came [32]. Embedded within the community, the murals are intricately intertwined with the ongoing social processes. Consequently, the community's perception of the murals and the values attributed to them are subject to influence by these evolving circumstances, rendering them susceptible to change over time [15, 33]. Murals that are popular today may no longer be so tomorrow.

Not all murals can be preserved

As mentioned above, the ephemeral nature of murals is generally accepted by the community as does the idea of destroying the mural "whenever necessary". As David Lowenthal stated, we have to accept that destruction, in the context of cultural heritage, is not a practice necessarily to be condemned but rather deeply rooted in human nature and society, constituting part of economic and creative life [34]. In the case of Riachos, as stated, it is not the act of destruction itself that is criticized but rather the absence of transparency and dialogue with the mural's authors. The artists express their frustration not because their murals were destroyed *per se*, but because they were unaware of the damage and were excluded from the decision-making process. The murals' placement and ownership of the architectural structure they adorn are critical aspects. Murals regularly clash with private interests, and it may not always be feasible to reconcile all parties interests.

On the other hand, it became evident that for the local population, and particularly for the authors themselves, destruction is viewed as a dynamic process. Existing murals are sometimes eliminated to give place for the creation of new ones on the same site. The constant process of creation and destruction inherent in the development of these community murals is seen as an essential part of their unique nature. Consequently, rather than dismissing, discouraging, or condemning it, it should be recognized and cherished.

Clear and unanimous leadership must be provided

Contrary to expectations, there was a marked shift from the tradition of regularly creating new murals and conservation through the retouching and repainting of those decaying in the meantime during the last Cattle Blessing Festival, in 2022. As was noted, only three new murals were created last year with just one retouched. When asked, at a meeting in May 2023 at the Agricultural Museum of Riachos, why they had not created new murals and attempted to solve any conservation issues in the existing murals on the occasion of the Festival, the painters unanimously replied: "because nobody called us".

This demonstrates the potential consequences of a lack of leadership in the process, which can swiftly jeopardize the entire dynamic of creation and preservation that was previously established. Therefore, clear and unanimous leadership must be provided and acknowledged by all those involved. Until 2022, this function belonged to NAR, which may keep it or pass it on to the Agricultural Museum, a regional institution that plays an important role in bringing the local community together [24, 35]. This institution, as a community museum, could assume the

role of managing this heritage. It would be responsible for cataloguing the murals, conducting ongoing monitoring of their conservation status, and leading the efforts to preserve the existing murals.

However, as previously stated, as there is a strong feeling of collective authorship over decision-making regarding the future of the murals, this should be a responsibility shared between the artists, owners, residents, and policy-makers. As such, the museum would need to ensure that all the different voices involved are heard when making decisions.

It is not possible to establish universal criteria for decision-making

Given the multiplicity of factors involved and the dynamic nature of the contexts surrounding murals, it is simply not possible to establish global criteria for conservation. Conserving community murals involves complex processes and it is therefore impossible to establish principles that can be universally applied to all cases [17]. Deciding which murals should be preserved, which changes are or are not acceptable, and who can restore each mural are all decisions that have to be taken continuously and for which even guidelines are difficult to establish precisely because community murals represent one facet of ongoing social processes [17].

Today's decisions are necessarily influenced by the dominant perspective of the present and, as a result, are always open to debate in the future, with decision criteria evolving at any time. This dynamic nature of the conservation decision-making process can be viewed as an intrinsic dimension of this cultural heritage.

Furthermore, no preservation decision will ever be impartial or neutral [32, 34]. Recognizing this fact is a key point for fostering transparency and critical engagement with community murals. This encourages the community to acknowledge diverse perspectives, address ethical issues, and engage in a broader discourse to ensure that the preservation policies reflect a broader spectrum of voices.

In this context, thorough documentation is crucial. As part of a master's degree project in Museology at Nova University Lisbon (UNL), conducted in 2022, a proposal was developed for the documentation of these murals [36]. This includes, among other aspects, recording each author's and owner's perspectives on ownership and preservation. Understanding how each one envisions the conservation criteria and the boundaries they establish for their alteration or destruction is essential for informed decision-making.

Ensuring the long-term viability of mural preservation is imperative

Without regular monitoring of the conservation state and treatment, the murals will continuously deteriorate. As such, the murals can become a burden rather than a source of pride, degrading the aesthetic appearance of the streets and becoming *heritas damnosa*, as the classical Romans described it [34]. However, preserving existing murals (in addition to creating new ones) requires material resources that are scarce or even nonexistent in a small community like Riachos.

Thus, obtaining funds from local entities becomes critical, with the municipality playing a particularly important role. Given its responsibility for safeguarding and upholding significant works even if not directly involved in their development, the municipality's jurisdiction extends to providing financial support, as well as material and technical help [17].

On the other hand, the long-term viability of any project aimed at preserving the Riachos murals depends on two other crucial factors. The first is the ability to act outside of the Cattle Blessing Festival which takes place once every four years. Mural conservation requires constant monitoring of their ongoing state as well as continuing decision-making. This is only conceivable if the Riachos' community murals project is viewed as a continuous project. Secondly, it is fundamental that partnerships are established with schools, museums, and other cultural institutions to create a support network that guarantees the continuity and preservation of the Riachos' murals.

Engaging with the academic community is crucial for providing informed and enlightened contributions. Between 2021 and 2023, a research project was developed within Techn&Art, a

research center at the Polytechnic Institute of Tomar (IPT), aimed at studying these murals, documenting them, and reflecting on possible preservation approaches with the involved community [37]. This project, titled "MurArte - Documentation of the Riachos Murals for Sustainable Preservation," was carried out in collaboration with various local partners, including the Agricultural Museum and NAR, which was essential for ensuring the broad participation of all stakeholders [37].

Although this project has been completed, collaboration with IPT and other educational institutions remains ongoing and highly desired. For example, a current master's research project in museology at UNL is developing a protocol proposal for the regular monitoring of the murals' conditions. This document is expected to provide precise guidelines on who should conduct this monitoring, how frequently it should be done, and the methods to be followed. Additionally, a guide for the creation of new murals is being prepared. This manual will include a set of guidelines for selecting and preparing supports, choosing painting materials, and applying preventive measures to ensure their long-term preservation. A very close collaboration with the Laboratory of Conservation and Restoration at IPT is also anticipated to provide the necessary technical support.

Conclusions

The murals play a fundamental role in the community of Riachos, serving as both visual features and identity markers. Considered cultural heritage, their permanence is contingent upon the collective will of the community that creates, repaints, replaces, or destroys them. As such, this case study sheds light on the need to move away from traditional preservation models and embrace innovative approaches to safeguarding what can be understood as cultural heritage.

This study reports that the long-established practice of conservation, driven by a desire for absolute permanence and the preservation of all material traces, cannot be applied in situations like these. The impracticality of maintaining everything is obvious. This not only demands resources beyond the community's means but also contradicts the inherent dynamics. The preservation of community-based murals, as observed, relies on the community's capacity to perpetuate the cycle of creation, modification, and removal, where new murals emerge, those existing are maintained and/or altered while others are subject to elimination.

Community murals are a collaborative endeavor, so residents must keep the cycle going by attracting new participants and fostering partnerships that can provide resources and support for the project. Although decision-making emerges from within the community, the successful preservation of these murals as cultural heritage depends on clear and well-established leadership. Conservators can contribute to this process by offering their expertise and knowledge. However, in this case, they should reach beyond the material aspects and consider the broader context, recognizing the immaterial dimension of the murals, their uniqueness, and their significance to the community. This means recognizing that conservators are not the sole authorities but rather act as facilitators and collaborators in the preservation process.

The critical reflection enabled by this case study, however, has some limitations. The first is that this is a relatively recent case (2012-2022), meaning that sufficient time has not yet passed to allow for the consolidation of conclusions that only time and social dynamics can provide.

Secondly, it would be beneficial to place this case within a broader context by comparing it with other similar instances of community murals or urban art, which are increasingly emerging in various cities across Portugal. Such a comparative analysis could help identify commonalities and differences in practices and attitudes. This approach would expand our understanding of ethically sustainable policies and practices for preserving this type of heritage.

Given these considerations, this study provides a starting point for a critical examination of the methods and policies governing the preservation of a type of legacy with distinct

characteristics. The cultural context of origin, the expectations generated within the community that created and holds it, and its high level of ephemerality and associated intangible values all contribute to its uniqueness. These are issues that contemporary conservation and restoration practices must be prepared to address adeptly.

Acknowledgements

The authors wish to thank the following institutions for all their generous support: Bênção do Gado Associação Cultural, Associação de Defesa do Património Histórico e Natural de Riachos, Museu Agrícola de Riachos, Núcleo de Estudos do Museu Agrícola de Riachos and the Núcleo de Artes de Riachos. They also gratefully acknowledge the Portuguese National Funding Agency for Science, Research and Technology for financing this project under reference UIDB/05488/2020.

REFERENCES

1. Bae, S. W., *Balancing past and present: reevaluating community murals and existing practices*, Master dissertation, Department of Historic Preservation, University of Pennsylvania, Philadelphia (2016).
2. Greaney, M. E., 'The power of the urban canvas: paint, politics, and mural art policy', *New England Journal of Public Policy* **18** (2002) 1-43, <https://scholarworks.umb.edu/nejpp/vol18/iss1/6/> (accessed 2023-05-04).
3. Conrad, D., 'Community murals as democratic art and education', *The Journal of Aesthetic Education* **29**(1) (1995) 98-102, <https://doi.org/10.1177/016146819509700102>.
4. Barnett, A. W., *Community murals: the people's art*, Art Alliance Press, Cornwall Books, Philadelphia & New York (1984).
5. Martínez-Carazo, E. M.; Santamaria-Campos, V.; de-Miguel-Molina, M., 'Creative mural landscapes, building communities and resilience in Uruguayan tourism', *Sustainability* **13**(11) (2021), <https://doi.org/10.3390/su13115953>.
6. Baumann, S. E.; Merante, M. M.; Sylvain-Holmgren, M.-A.; Burke, J. G., 'Exploring community art and its role in promoting health, social cohesion, and community resilience in the aftermath of the 2015 Nepal earthquake', *Health Promotion Practice* **22**(1_suppl) (2021) 111-121, <https://doi.org/10.1177/1524839921996083>.
7. Stein, C. H.; Faigin, D. A., 'Community-based arts initiatives: exploring the science of the arts', *American Journal of Community Psychology* **55**(1-2) (2015) 70-73, <https://doi.org/10.1007/s10464-014-9698-3>.
8. Beauregard, C.; Tremblay, J.; Pomerleau, J.; Simard, M.; Bourgeois-Guérin, E.; Lyke, C.; Rousseau, C., 'Building communities in tense times: fostering connectedness between cultures and generation through community arts', *American Journal of Community Psychology* **65**(3-4) (2020) 437-454, <https://doi.org/10.1002/ajcp.12411>.
9. Sieber, T.; Cordeiro, G. I.; Ferro, L., 'The neighborhood strikes back: community murals by youth in Boston's communities of color', *City & Society* **24**(3) (2012) 263-280, <https://doi.org/10.1111/ciso.12000>.
10. Bublitz, M. G.; Rank-Christman, T.; Cian, L.; Cortada, X.; Madzharov, A.; Patrick, V. M.; Peracchio, L. A.; Scott, L. M.; Sundar, A.; Ngoc, (R). T.; Townsend, C., 'Collaborative art: a transformation force within communities', *Journal of Association for Consumer Research* **4**(4) (2019) 305-445, <http://dx.doi.org/10.1086/705023>.
11. Meade, R.; Shaw, M., 'Community development and the arts: sustainable the democratic imagination in lean and mean times', *Journal of Arts & Communities* **2**(1) (2011) 65-80, https://doi.org/10.1386/jaac.2.1.65_1.
12. Sánchez-Pons, M.; Canales, J., 'El mural en el arte contemporáneo: cambios conceptuales y tecnológicos', in *Conservation issues in modern and contemporary murals*, eds. M. S. Pons, W. Shank & L. F. López, Cambridge Scholars Publishing, Newcastle upon Tyne (2015) 6-26.
13. Mendelson-Shwartz, E.; Mualam, N., 'Challenges in the creation of murals: a theoretical framework', *Journal of Urban Affairs* **44**(4-5), (2021) 1-25, <https://doi.org/10.1080/07352166.2021.1874247>.
14. Jones, B., 'The community artist as community development catalyst: an evaluation of a pilot project', *Community Development* **19**(1) (1998) 37-50, <https://doi.org/10.1080/15575338809490014>.
15. McCormick, J.; Jarman N., 'Death of a mural', *Journal of Material Culture*, **10**(1) (2005) 49-71, <https://doi.org/10.1177/1359183505050094>.
16. Brajer, I., 'Values and preservation of contemporary outdoor murals', in *Conservation issues in modern and contemporary murals*, eds. M. S. Pons, W. Shank & L. F. López, Cambridge Scholars Publishing, Newcastle upon Tyne (2015) 39-58.
17. Drescher, T., *Priorities in conserving community murals*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles (2004), https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/drescher.pdf (accessed 2023-05-05).
18. Mezzadri, P., 'Contemporary murals in the street and urban art field: critical reflections between preventive conservation and restoration of public art', *Heritage* **4**(3) (2021) 2515-2525, <https://doi.org/10.3390/heritage4030142>.
19. Rainer, L., 'The conservation of outdoor contemporary murals', *The Getty Conservation Institute Newsletter* **18**(2) (2000) 4-9, (PDF) [The conservation of outdoor contemporary murals](https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/rainer.pdf) (accessed 2023-05-05).
20. Shank, J. W.; Drescher, T., 'Breaking the rules: a new life for rescue public murals', *Studies in Conservation* **61**(sup2) (2016) 203-207, <https://doi.org/10.1080/00393630.2016.1188249>.
21. Kyi, C.; Tse, N.; Khazam, S., 'The potencial role of citizen conservation in re-shaping approaches to murals in an urban context', *Studies in Conservation* **61**(sup2) (2016) 98-103, <https://doi.org/10.1080/00393630.2016.1193690>.
22. Eaton, K., 'The case of disappearing community murals in East Toronto (Canada)' in *Modern and contemporary murals*, eds. M. S. Pons, W. Shank & L. F. López, Cambridge Scholars Publishing, Newcastle upon Tyne (2015) 421-448.

23. Marçal, H.; Macedo, R., 'From the periphery to centre: community engagement and justice in conservation decision making', in *ICOM-CC 18th Triennial Conference Preprints, Copenhagen, 4-8 September 2017*, ed. J. Bridgland, ICOM, Paris (2017), <http://hdl.handle.net/10362/35434> (accessed 2023-05-12).
24. Martins, J. M. P., *O Museu Agrícola de Riachos agente de educação de adultos e motor de desenvolvimento local*, Associação para a Defesa do Património Histórico e Natural da Região de Riachos, Riachos (2015).
25. Saraiva, M. G.; Lavrador-Silva A.; Ramos, I. L., 'A Charneca do Ribatejo - paisagem e identidade. Perspectivas a partir do observatório da paisagem da Charneca', *Finisterra* 56(117) (2021) 81-106, <https://doi.org/10.18055/Finis18629>.
26. Triães, R.; Ferraz, Â., 'Se estas paredes falassem: os murais da vila de Riachos', in *Todas as artes todos os nomes*, vol. 2, ed. P. Guerra, Universidade do Porto, Faculdade de Letras, Porto (2022) 402-413.
27. Chasqueira, Â.; Ferraz, Â.; Triães, R., 'Remove, repaint or retouch: should the community decide? The case of the outdoor murals of the Riachos village, Portugal', in *Rech 6 - 6th International meeting on retouching of cultural heritage*, Universitat Politècnica de València, València (2023) 18-24, <https://doi.org/10.4995/rech6.2021.13523>.
28. Chasqueira, Â.; Ferraz, Â.; Triães, R., 'Meaningful walls: issues surrounding the preservation of the murals of the Riachos village, Portugal', in *Arte e spazio pubblico*, Direzione Generale Creatività Contemporanea del Ministero della Cultura, Fondazione Scuola dei beni e delle attività culturali, Silvana Editoriale, Milano (2023) 160-165.
29. Nuno, C.; Ferraz, Â.; Triães, R.; Chasqueira, Â., 'Os murais etnográficos de Riachos e os desafios à sua preservação', in *Roteiro do projeto MurArte: documentação dos murais de Riachos com vista à sua preservação sustentável*, TECHN&ART, Tomar (2024) 11-23.
30. Luz, J., *Engalanada*, Film documentary, Techn&Art, Instituto Politécnico de Tomar, Tomar (2023).
31. Moreira, A. I., Written testimony to the authors, August 15, 2021.
32. De La Torre, M., 'Values and heritage conservation', *Heritage & Society* 6(2) (2013) 155-166, <https://doi.org/10.1179/2159032X13Z.00000000011>.
33. Nomeikaite, L., 'Street art and heritage conservation: from values to performativity', *SAUC - Street Art and Urban Creativity* 5(1) (2020) 6-19, <https://doi.org/10.25765/sauc.v5i1.181>.
34. Lowenthal, D., 'Stewarding the past in a perplexing present', in *Values and heritage conservation: research report*, eds. E. Avrami; R. Mason; M. de la Torre, The Getty Conservation Institute, Los Angeles (2000) 18-25.
35. Figueira, L. M., 'Museu Agrícola de Riachos: práticas e teorias num museu de comunidade', *Cadernos de Sociomuseologia* 19(63) (2022) 73-89, <https://doi.org/10.36572/csm.2022.vol.63.06>.
36. Oliveira, B. L dos A., *Os murais de Riachos: proposta de projeto para documentação*, Master dissertation, Department of Art History, Universidade NOVA de Lisboa, Lisboa (2022), <http://hdl.handle.net/10362/143520>.
37. *MurArte - O projeto*, http://www.techneart.ipt.pt/murarte/pt/o_projeto/ (accessed 2024-05-31).

RECEIVED: 2023.11.13

REVISED: 2025.2.16

ACCEPTED: 2025.4.20

ONLINE: 2026.6.2



This work is licensed under the Creative Commons

Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

To view a copy of this license, visit

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>.

Non-invasive pXRF technique for identifying pigments in multilayered artistic paintings

pXRF: técnica não invasiva para identificar pigmentos em pinturas artísticas com multicamadas

ROSARIO BLANC 
ELOISA MANZANO * 
JOSÉ LUIS VÍLCHEZ 

Research Group of Analytical
Chemistry and Life Sciences,
Department of Analytical
Chemistry, Faculty of Sciences,
University of Granada, Avda.
Fuentenueva s/n, 18071 Granada,
Spain

*emanzano@ugr.es

Abstract

Portable X-ray fluorescence (pXRF) is a powerful analytical tool; however, its application to the analysis of complex pigment mixtures and multilayered artistic paintings – particularly ternary and quaternary systems distributed across one or more layers – still presents significant challenges. This study investigates the effectiveness of pXRF in detecting specific pigments, such as azurite, cinnabar, and lead white, within complex mixtures and overlapping stratigraphic layers, which are typical features of historical paintings and polychrome sculptures. Cadmium yellow, a pigment commonly used in later periods as overpainting, was also successfully identified, providing insights into the usefulness of pXRF for testing on historical artworks, even when dealing with later additions or restorations. The insights gained from these experimental replicas were subsequently applied to the analysis of two historical paintings selected as case studies, in which the target pigments were found to be heterogeneously distributed and mixed in varying proportions.

Resumo

A fluorescência de raios X portátil (pXRF) é uma ferramenta analítica poderosa; no entanto, a sua aplicação na análise de misturas complexas de pigmentos e pinturas artísticas com várias camadas – particularmente sistemas ternários e quaternários distribuídos por uma ou mais camadas – ainda apresenta desafios significativos. Este estudo investiga a eficácia da pXRF na deteção de pigmentos específicos, como azurite, vermelhão e branco de chumbo, em misturas complexas e camadas estratigráficas sobrepostas, comum em pinturas históricas e esculturas policromáticas. O amarelo de cádmio, um pigmento muito usado em períodos posteriores como sobrepintura, também foi identificado, mostrando a utilidade do pXRF para analisar obras de arte históricas, mesmo quando se trata de adições ou restauros posteriores. As informações obtidas com as réplicas experimentais foram posteriormente usadas para analisar duas pinturas históricas selecionadas como casos de estudo. Os pigmentos identificados estão distribuídos de forma heterogênea e misturados em proporções variadas.

KEYWORDS

pXRF
Multi-layered model
sample
Cinnabar
Azurite
Cadmium yellow
Lead white

PALAVRAS-CHAVE

XRF portátil
Amostra padrão em
multicamadas
Cinábrio
Azurite
Amarelo cádmio
Branco de chumbo

Introduction

Art scientists play a crucial role in the multidisciplinary study of cultural heritage (CH), developing modern techniques and innovative strategies to investigate historical and artistic materials. Multidisciplinary research can yield valuable insights into artistic heritage by combining expertise from heritage sciences. The investigative focus has shifted in recent years towards non-invasive, in situ methods, so the need has arisen for portable instruments for in-field assessments. One analytical technique widely cited in the literature is energy dispersive X-ray fluorescence (XRF) spectrometry, which has been used for elemental characterisation since the 1960s [1-8]. This is now widely and successfully used to provide non-destructive elemental analysis of pigments on polychrome surfaces, easel paintings, historical manuscripts, and even in archaeological and forensic applications [7, 9-16]. The use of portable X-ray fluorescence (p-XRF) spectrometry for in situ multi-elemental analysis has grown exponentially, but some limitations have been noted. These include its low sensitivity in detecting light elements, the over-lapping or proximity of some X-ray lines, such as the $SK\alpha$ line and $PbM\alpha$ lines [17-18], and the influence on the fluorescence signal of the elements of the sample matrix. This last effect plays a crucial role in the detection of pigments using pXRF because it can either enhance or attenuate the fluorescence signal of the heaviest element of a pigment, depending on the surrounding materials and their composition [19].

The X-rays are attenuated because in the fluorescence process they are generated both in the atoms on the surface of the sample and in those within the sample. When a beam of X-ray photons passes through a material, some photons are attenuated in the interaction processes, following the Beer-Lambert law. The intensity of both the incident X-ray beam and the fluorescent radiation is reduced due to absorption in the sample; the degree of reduction depends on the density, thickness, and mass attenuation coefficient of all the elements in the matrix. This variability can make it challenging to identify these elements accurately, which is particularly relevant to attempts to understand the materials and techniques used by artists in the field of art conservation and restoration. Several recent studies have examined the factors involved in the in situ pXRF analysis of pigments, particularly from complex layered samples. Literature has focused on layer thickness, pigment dilution in the binder (critical Pigment Volume Concentration or PVC), pigment particle size, layer homogeneity, and the matrix effect, particularly on the complex stratigraphic structures of paintings and their influence on the measurement of the fluorescence signal [8-9, 20-23].

Progress has been made, such as in the visualisation of the distribution of elements within complex structures through macro XRF mapping, the variation of the angle of X-ray incidence (angular scanning) [19, 21], and the evaluation of layer stratigraphic disposition and measurement of its thickness through the Monte Carlo (MC) algorithm, and the use of X-ray intensity ratios (such as $K\alpha/K\beta$ or $L\alpha/L\beta$) [2, 8, 24-28]. However, despite ongoing investigation, the matrix effect of elements from different pigments within the pictorial medium remains a challenging topic in the case of polychromatic multilayers and complex pigment mixtures such as easel paintings. This topic is the focus of the present study.

The present work is one element of our multidisciplinary research, which aims to develop advanced non-invasive techniques to extract the maximum possible information from artistic paintings. In particular, an interesting line of research in our project focuses on studying pigment mixtures in real paintings signed by renowned artists [2, 26, 29]. Our current research delves deeper into this topic, mainly addressing questions related to the analysis of complex multilayers and mixtures in unknown painting samples by pXRF spectrometry. Our main goal is to establish the reliability of this technique for detecting the component elements of pigments, even in binary, ternary, and quaternary mixtures of pigments. The pigments are spread pure or mixed (2, 3 or 4 pigments) in single or multilayered pictorial structures. Given the mixtures of pigments traditionally used, we selected cinnabar, azurite, and cadmium yellow, in both pure and mixed forms [30]. The combination of these pigments in various ways

reflects the techniques traditionally used to achieve a wide range of colours and effects in artworks. Small amounts of cinnabar and azurite mixed in the flesh tones of living figures are common in traditional paintings and sculptures, while azurite combined with red pigment and lead white produces purple tones, and with cadmium yellow forms green. Lead white – widely used as *imprimatura* or for light areas in many artistic paintings in the past – was also chosen to study its influence in different mixtures. Finally, findings from the experimental replica samples studied are applied to two real paintings used as case study.

Materials and methods

Pigments and binder medium

The selected pigments – cinnabar, azurite, cadmium yellow, and lead white – were used in their pure form and as mixtures, with refined linseed oil (Winsor & Newton) as the pigment binder in all the model samples. The pigments azurite (Standard PB 30 (A), $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$, 10200 code Kremer), lead white (LW, $(\text{PbCO}_3)_2 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$, 46000 code Kremer) and cinnabar (C, HgS , 42000 code Kremer) were used for centuries in European easel painting, particularly during the fifteenth and sixteenth centuries. Additionally, a more recent pigment developed in the nineteenth century, cadmium yellow (CY, CdS , 21040 code Kremer), was included in this study. The CdS pigment used in this study is consistent with historical CdS – CdZnS formulations employed to lighten cadmium yellow tones. The Zn content remains below the detection limit of our analytical methods. The reason for including an anachronistic pigment in this study lies in its potential presence, possibly added during a repainting or retouching as part of a restoration process. This pigment introduces a new element (Cd) with different spectral lines compared to the previous pigments (Pb, Cu, Hg), providing insights into the usefulness of pXRF for testing on historical artworks, even when dealing with later additions or restorations.

Model paint samples

Test panels were prepared in the laboratory on one canvas support; each panel replicates a layered artistic painting. Twenty-four model samples were prepared, containing both pure pigments (cinnabar, azurite, cadmium yellow and lead white) and mixtures of these, arranged in one, two or three layers. The successive layers were applied with a brush. All pigments were manually mixed in a porcelain glass for a few minutes, using a glass rod, with linseed oil as the medium. The amount of linseed oil used simulated the standard proportions of pigment mixtures, which must have an optimal consistency, not drip during application, and achieve a homogeneous layer. The amount of oil absorbed by each pigment varies due to pigment grain size, form, and chemical composition, but the optimal pigment/linseed oil (w/w) ratio required to obtain an appropriate viscosity of paint for each pigment studied was 3:1 (1.5 g of pigment to 0.5 ml of linseed oil). This ratio was maintained in the mixtures. The structure was designed to reproduce a paint layer thickness typical of real paintings, reaching approximately 100 μm , measured using a Mitutoyo 2046F thickness gauge (measurement range: 0.01–10 mm). Each layer was applied and then allowed to dry under controlled laboratory conditions (22 °C, 50 % RH) without direct exposure to light. After approximately 72 hours, when the layer had fully dried to the touch, the subsequent layer was applied on top of the previous one. The study was carried out using a portable XRF spectrometer. For each model sample, three measurement points were considered, and the calculated signal fluorescence was averaged from the number of counts per second of the three measurements taken with a precision of 1.43 %. The indicated precision was evaluated as the percentage ratio between semi-dispersion error and averaged value. One hundred and twenty-nine measurements were carried out in this way with pXRF, including support measurements.

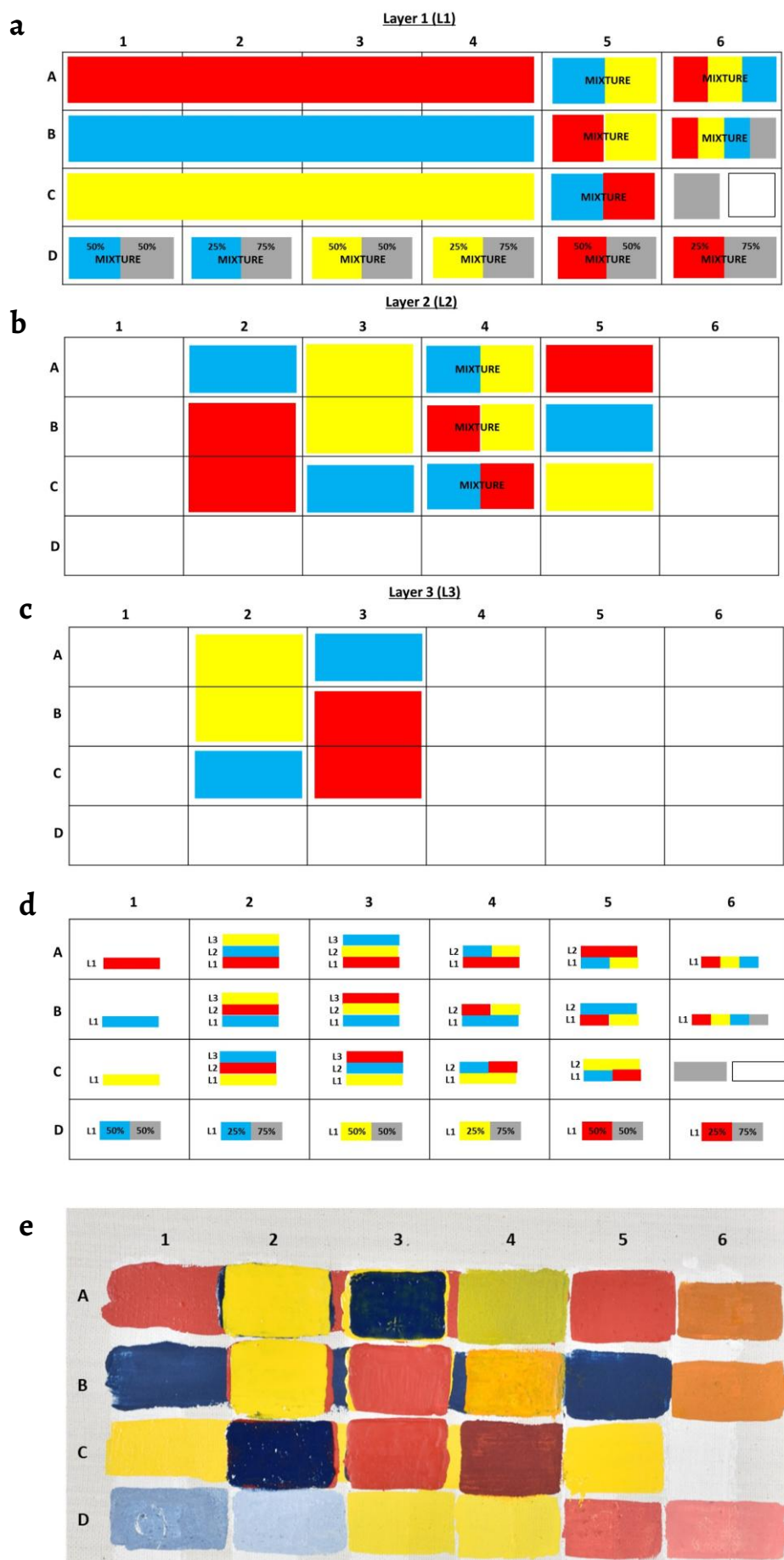


Figure 1. Schematic structure of the model samples: *a*) in the first layer; *b*) second layer; *c*) third layer; *d*) the outline of its stratigraphic layout and *e*) the final state of the model sample. Red – HgS, blue – $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$, yellow – CdS, grey – $(\text{PbCO}_3)_2 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ and white – canvas. The size of each cell is 2.5×5 cm.

Figure 1 schematises the stratigraphic arrangement of the pure and mixed pigments in the first (Figure 1a), second (Figure 1b), and third layers (Figure 1c) of the model samples. Figure 1 shows how the first layer (L1) was prepared with pure pigments (cinnabar 1-4A; azurite 1-4B; cadmium yellow 1-4C and lead white 6C) and binary, ternary and quaternary mixtures of pigments. Binary mixtures were prepared with combinations of two of cinnabar, azurite, and cadmium yellow pigments in a 1:1 ratio (5A-C) and combinations of one of these pigments with white lead at 1:1 and 3:1 ratio (1-6D). A ternary mixture sample of cinnabar, azurite, and cadmium yellow in equal proportions was prepared (6A), and a quaternary mixture sample was prepared, composed of the three previous pigments plus lead white, also in equal proportions (6B). The second layer (L2) was prepared on top of the first. Pure pigments (2A-C, 3A-C and 5A-C) and binary mixtures (4A-C) were spread on top of the first layer. The third layer (L3) was prepared on top of the second layer with pure pigments (2A-C and 3A-C). In addition, the stratigraphic structure of the model samples is shown, where the inner layer is L1, the middle layer L2 and the outer layer L3 (Figure 1d). Finally, the photograph of the final state of the model samples is shown (Figure 1e).

Case study: description of the paintings

To support our experimental testing with replica samples, two paintings were selected (case study No. 1 and No. 2) for study. The artworks were attributed to the sixteenth century and feature the use of lead white, vermilion or cinnabar, and azurite pigments in their layers. Both paintings belong to a private collection and were studied by our research group. In each artwork, specific color areas (red, blue, and flesh tones) were selected for analysis, which contain some of the pigment mixtures discussed in the study (Figure 2).



Figure 2. The case study paintings: a) No. 1, painting on copper support; b) No. 2, painting on canvas: *The Little Madonna of Foligno*.

Case study No. 1 comprises an oil painting on a copper support, on the back of which is the inscription, *Boceto di Pablo Veronese*. The painting (Figure 2a) is oval shaped with two axes of symmetry (major axis: 17.5 cm; minor axis: 13.5 cm). The theme of the painting is religious, representing the Holy Family [2].

Case study No. 2 is an oil painting entitled *The Little Madonna of Foligno*, dated between 1507 and 1509. It depicts a scene almost identical to that of Raphael Sanzio's *Madonna of Foligno* from the Italian High Renaissance (around 1511), which is displayed in the Vatican Pinacoteca (Figure 2b). The *Little Madonna of Foligno* is smaller (66.5 × 93.5 cm) and includes additional details, such as the almost complete head of a lion behind Sigismund of Conti's cape [29].

Handheld X-ray fluorescence (pXRF)

X-ray fluorescence spectroscopy analysis was performed using a handheld NITON XL3t GOLDD+ (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) with a silver anode (50 kV, 200 A) analyser (pXRF). The analyser was fitted with a camera and a suitably equipped Small Spot analyser, with which analysis could be restricted to a small area of the camera angle (3 mm). After waiting five minutes to allow the instrument's electronics to stabilize, a system check was performed to calibrate the detector and ensure it was operating according to the specifications. Spectra were collected using the measuring mode "test all geo". The analyser was equipped with four excitation filters (main, high, low, and light) that optimise the analyser's sensitivity for the various elements. Measurements of 30 seconds for each filter were set, meaning each spot analysis took approximately 120 seconds to complete. The geometrical setup was the same for all the measurements. NITON Data Transfer (NDT) software 6.1 was used to control the instrument and for management and transfer.

Results

The results of the pXRF measurements of the model pictorial samples, with the pigments used in pure form, mixed, or layered, are shown below. This was followed by a discussion on the influence on the fluorescence signal of the presence of other pigments in mixtures and/or in multiple layers. The current section begins with the description of the XRF results for model samples when the analysed pigment is pure and located in the outer, inner or middle layer. The following section deals with the results obtained on the pigment mixtures, as either external or internal layers. Finally, the results obtained in the study of laboratory samples were supported using pXRF to identify these pigment mixtures in two real paintings.

For the present study, the number of counts per second (cps) of the spectral lines of the heaviest element of each pigment – Hg α for cinnabar, Cu α for azurite, Cd α for cadmium yellow and Pb α for lead white – was measured. Bar charts are used to plot the mean values of various elements (Hg, Cu, Cd, Pb) from three random measurements. These measurements are taken when the pigment analysed is located in the outermost, innermost, or middle layer of a model sample with one, two, or three layers. The elements found in the canvas support (majority Zn and traces of Ba, Pb, Fe, S and Ca) do not affect the results obtained.

Model samples of pure pigments

Representative pXRF spectra of pure pigments measured in a mono layer were selected for display in Figure 3. The figure displays the characteristic spectral lines of the chemical elements in each pigment and illustrate how each pigment can be differentiated.

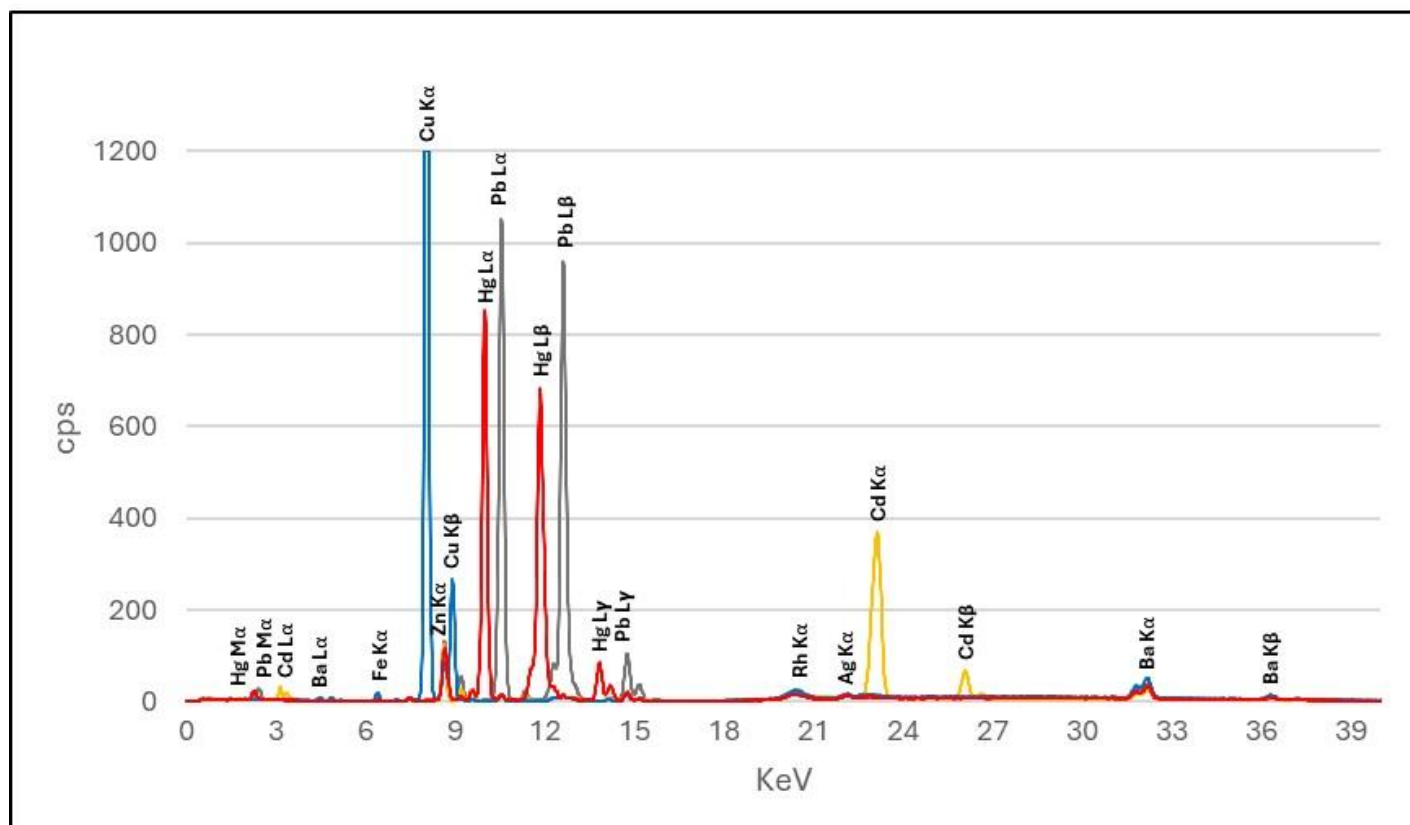


Figure 3. pXRF spectra of pure pigments: red - HgS, blue - $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$, yellow - CdS, grey - $(\text{PbCO}_3)_2 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$.

Pure pigment in the outermost layer

When the pure cinnabar, azurite or cadmium yellow was situated in the outermost layer, the counts per second (cps) of the peak of the heaviest element in a mono layer (L1) was compared with its signal when measured over two- (L2) or three-layered (L3) model samples.

Figure 4a shows a decrease in the X-ray fluorescence signal of the $\text{HgL}\alpha$ line of a pure cinnabar when it is extended over a layer of azurite or cadmium yellow (30 % to 47 %, respectively). It should be noted that when there was two layers of pigment under the cinnabar, the X-ray fluorescence signal $\text{HgL}\alpha$ was unaffected. Note also that the order of the two pigments under the cinnabar layer did not affect the $\text{HgL}\alpha$ signal.

If pure azurite was the outermost layer (Figure 4d), the bar chart showed a prominent $\text{CuK}\alpha$ line, but this was reduced by about 50 % when the cinnabar was present in internal layers. However, only a slight reduction in the $\text{CuK}\alpha$ line (around 15 %) was observed when cadmium yellow is the underlying pigment.

The X-ray fluorescence intensity of the $\text{CdK}\alpha$ line from pure cadmium yellow in a mono layer (Figure 4g) was significantly less than the $\text{CuK}\alpha$ and $\text{HgL}\alpha$ lines in the same disposition. However, it should be noted that its signal increased by 40-50 % when the yellow pigment was spread in the outer layer of a bilayer sample. This signal increased was only observed in bilayer samples; it did not occur in trilayer samples.

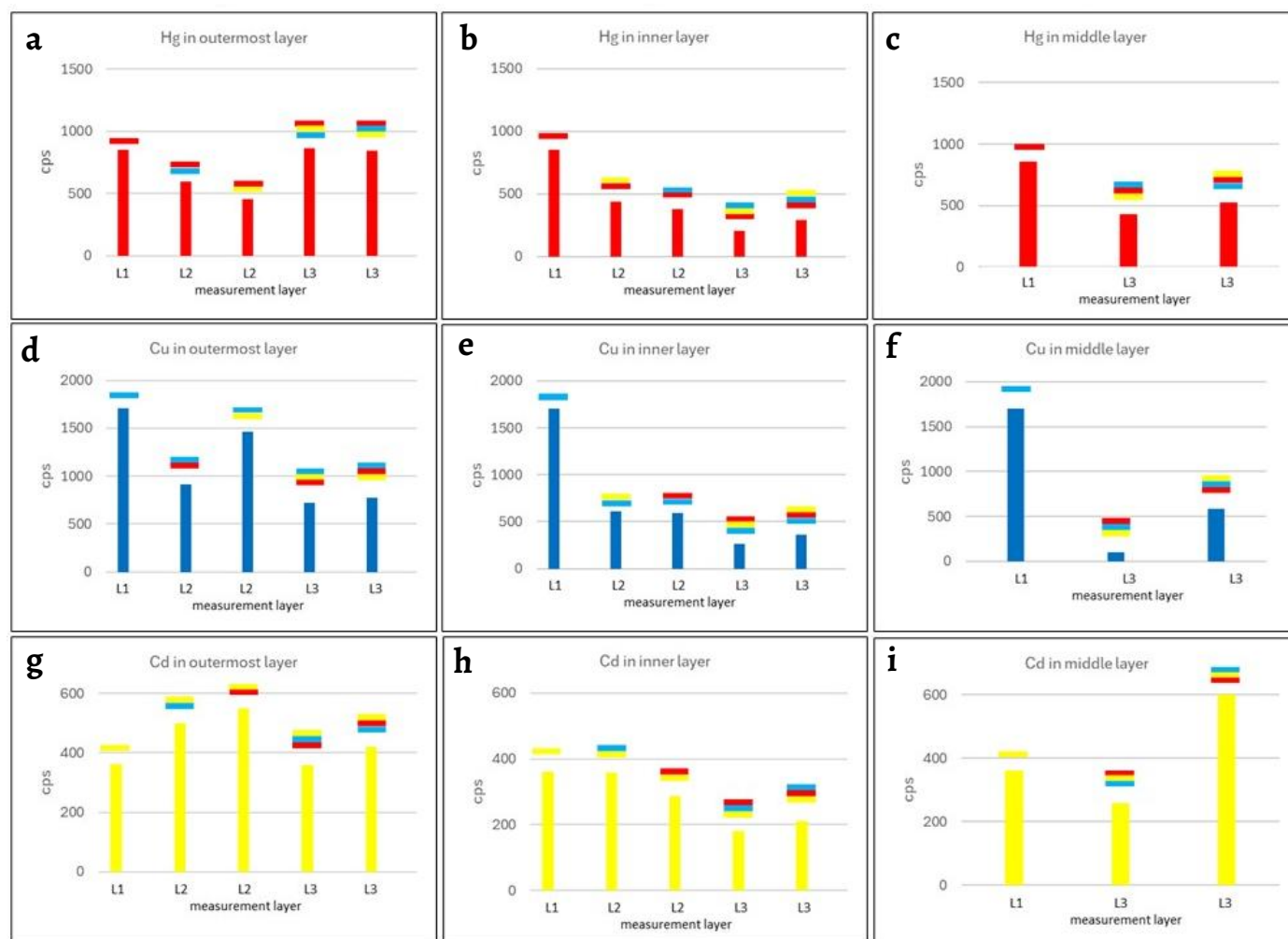


Figure 4. Counts per second (cps) of the peak of: a-c) HgL α ; d-f) CuK α ; g-i) CdK α , for each pure pigment when measured in the outermost, inner and middle layer. Red - HgS, blue - Cu₃(CO₃)₂(OH)₂, yellow - CdS. The small colored segments at the top of each bar illustrate the pigment stratigraphy corresponding to the successive layers, as documented in Figure 1.

Pure pigment in middle and inner layers

When cinnabar or azurite pigments were in the inner or middle layers of two- or three-layer samples, a significant reduction was observed in the X-ray fluorescence signal of HgL α or CuK α , compared to that in the single pigment. This observed reduction was independent of the number of paint layers and the location of the pigment being measured (L1, L2 or L3) (Figure 4b-c, e-f). Notably, there was a significant reduction of the CuK α fluorescence signal (90 %) when azurite was in the middle layer under an outer layer of cinnabar. The presence of an outer layer of cinnabar significantly affected the copper signal of the blue pigment located in the lower layer. The CdK α signal, though, was barely affected by the presence of cinnabar, although a notable increase in its signal was observed in three-layer samples with azurite in the outermost layer.

Model samples of mixed pigments

In order to study the influence of the pigment mixture on the fluorescence signal of the pictorial matrix, fourteen model samples were prepared, including single- and two-layer samples (Figure 1). Figure 5 shows selected pXRF spectra of samples of mixed pigments.

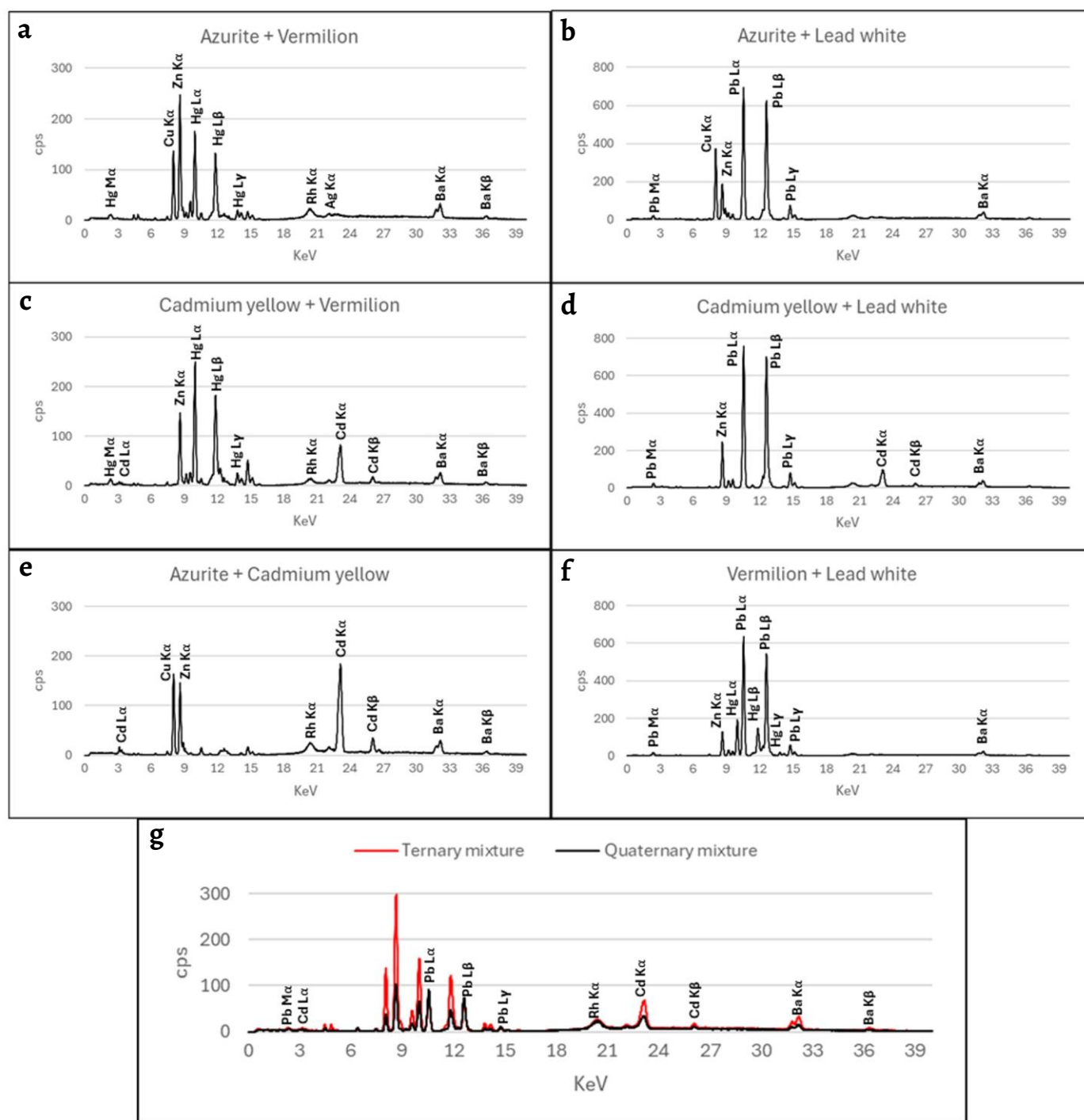


Figure 5. pXRF spectra of model samples of binary, ternary and quaternary mixtures with equal proportions of pigments: a) binary mixture of azurite and cinnabar; b) binary mixture of azurite and lead white; c) binary mixture of cadmium yellow and cinnabar; d) binary mixture of cadmium yellow and lead white; e) binary mixture of azurite and cadmium yellow; f) binary mixture of cinnabar and lead white and g) red-ternary mixture (azurite, cinnabar and cadmium yellow) and black-quaternary mixture (azurite, cinnabar, cadmium yellow and lead white).

Mix pigments in the external layer

This section focuses on 11 model samples containing pigment mixtures in the outermost layer. In eight of them, the mixtures were spread in a single layer, and in the other three, the mixtures were in the outer layer of two-layer samples (Figure 1). The single-layer samples contained binary, ternary, and quaternary mixtures, with equal pigment proportions (1:1, 1:1:1, and 1:1:1:1 ratios), and binary mixtures of lead white and pigment with a 1:1 (LW:pigment) and a 3:1 (LW:pigment) ratio (Figure 1).

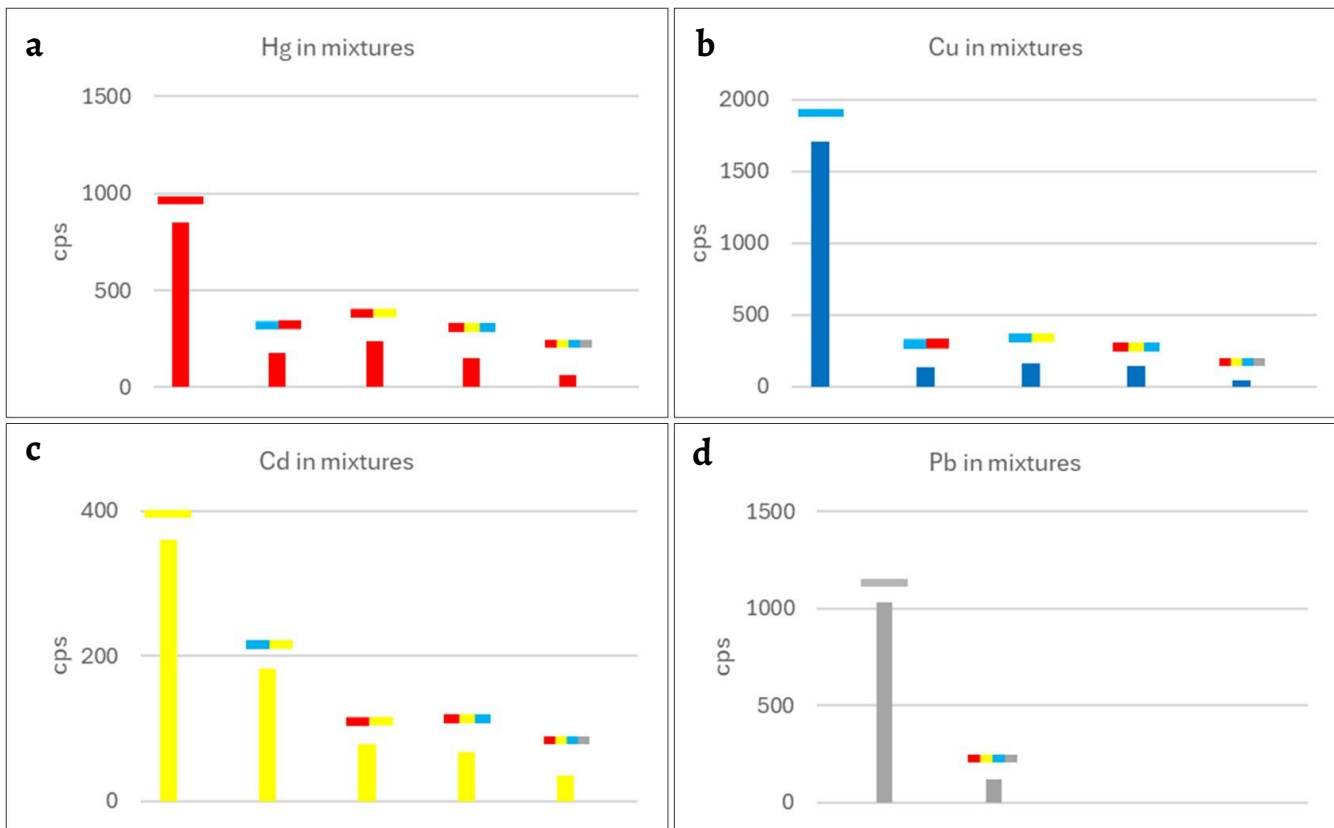


Figure 6. Counts per second (cps) of the peak of: 1a) HgL α ; 1b) CuK α ; 2c) CdK α ; 2d) PbL α for each mixture. Red - HgS, blue - Cu₃(CO₃)₂(OH)₂, yellow - CdS, grey - (PbCO₃)₂·Pb(OH)₂.

The bar charts in Figure 6 show that all the pigments measured show a much lower fluorescence signal than the pure pigment signal when they were part of a binary, ternary, or quaternary mixture. The decrease was greater than 50 % in all tested mixtures. This occurs particularly in the quaternary mixture, where the HgL α , CuK α , CdK α , and PbL α signals were reduced by up to 95 %.

Figure 7 illustrates the impact of lead white (LW: pigment) on the X-ray fluorescence signals of other pigments in binary mixtures. The presence of Pb in mixtures significantly reduced the X-ray fluorescence signals of other pigments, the HgL α , CuK α , and CdK α signals at a 1:1 ratio with Pb were up to 80 % lower than the signal of the pure pigment. The reduction of the measured X-ray fluorescence signal of PbL α in the three binary mixtures was lower, however, in particular for LW:CY (3:1) and for LW:A (3:1). When the proportion of azurite in the mixture was increased (1:1 ratio), the PbL α signal was reduced by around 40 %. Mixtures with cinnabar showed the most significant reduction in the X-ray fluorescence measurement of Pb, even when lead white constituted 75 % of the mixture.

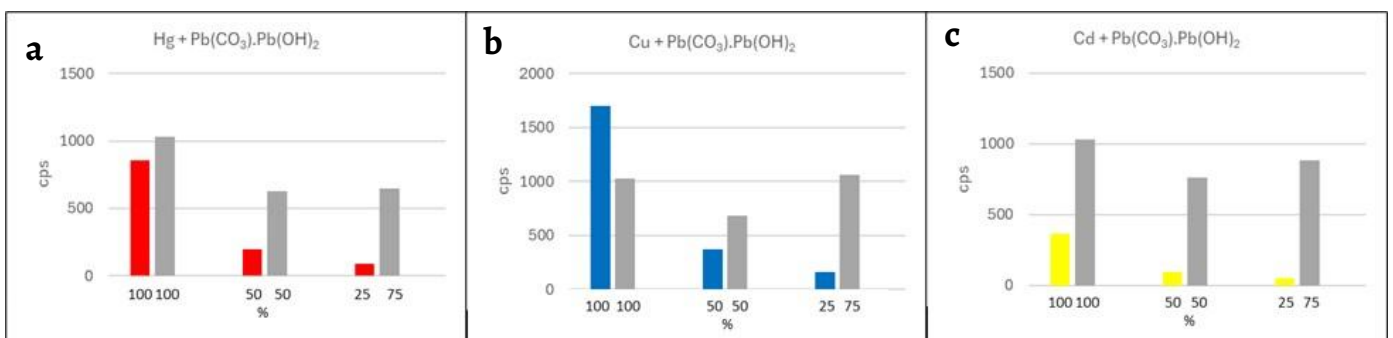


Figure 7. Counts per second (cps) of the peak of HgL α , CuK α , CdK α or PbL α for binary mixtures between different pigments and lead white in a single layer: a) binary mixture of cinnabar and lead white; b) binary mixture of azurite and lead white and c) binary mixture of cadmium yellow and lead white. Red - HgS, blue - Cu₃(CO₃)₂(OH)₂, yellow - CdS, grey - (PbCO₃)₂·Pb(OH)₂.

Finally, this section studies how the mixture of pigments affects the X-ray fluorescence signal when this mixture was in the outer layer of a two-layer sample (Figure 1d, 4A-C). The results are shown in the bar charts of Figure 8a, c and, e.

When pure pigments were spread on the outer layer over a mixture, there was very little reduction in the HgLa and CdKα fluorescence signal, but the azurite signal was reduced by almost 45 %. However, the decrease in the signal was significant if the measured pigment was on the outer layer but in a mixture; the HgLa signal, especially, was drastically attenuated – by 90 % – despite being in the outer layer.

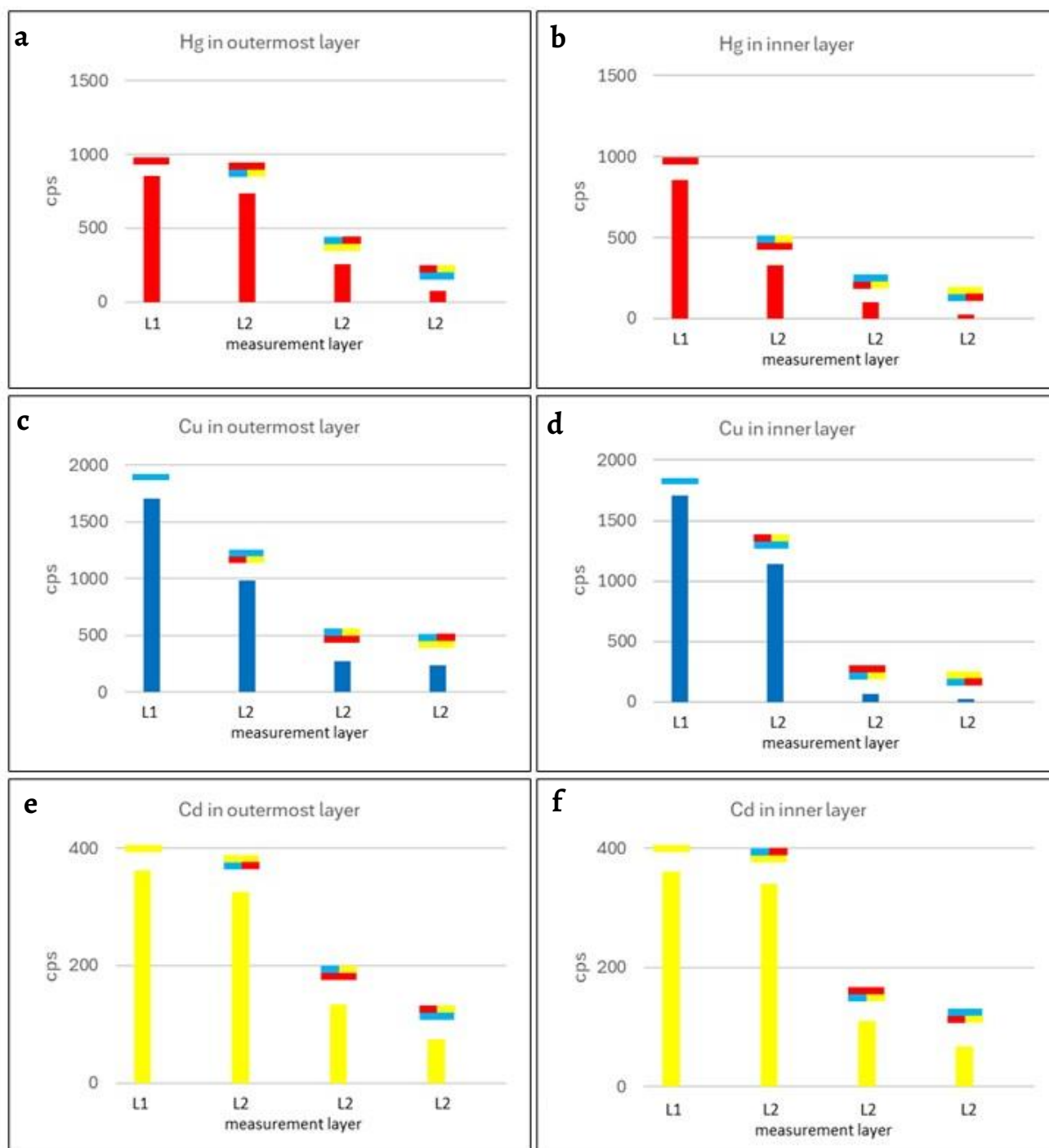


Figure 8. Counts per second (cps) of the peak of: a-b) HgLa; c-d) CuKα; and e-f) CdKα in outermost and inner layers for pigment mixtures spread on two-layer samples. Red - HgS, blue - Cu₃(CO₃)₂(OH)₂, yellow - CdS. The small colored segments at the top of each bar illustrate the pigment stratigraphy and mixtures corresponding to the successive layers, as documented in Figure 1.

Mix pigments in the inner layer

The X-ray fluorescence signal of pure or mixed pigments located in the inner layer was shown in the bar charts of Figure 8b, d and, f. When the pigment being measured was pure under a mixture layer, the HgL α signal is reduced by 60 % and the CuK α signal by 30 %. In contrast, the signal of pure cadmium yellow remains constant. However, when the pigment being measured was mixed and located in the inner layer, the reduction in HgL α and CuK α signals was more significant than when the pigment was is pure. The CdK α signal was only affected if the pigment was mixed, and it was unaffected by whether it was in the inner or outer layer.

Stratigraphical information obtained by measuring the intensity of different spectral lines by pXRF

The spectrum of pXRF measurements of the model pictorial samples showed different spectral lines depending on whether the pigment is in an external or internal layer. As indicated in the bibliography consulted “the energetic emission from the PbL α line (10.3 keV), being poorly attenuated, is related to the presence of lead elements in the whole stratigraphy. On the other hand, the detected emission from the PbM α line (2.38 keV) is related to surface layers only, since photons emitted in underlying layers are strongly absorbed by upper layers” [31–32].

As shown in Figure 3 and Figure 5, the lead white was in an external layer in all the model samples in our study. Therefore, in the corresponding spectrum, we observe the spectral lines of PbL α and PbM α .

Figure 9 shows the same situation for cinnabar and cadmium yellow, respectively. If both pigments were in external layers, the peaks corresponding to the spectral lines HgM α and CdL α appear, and if they were in internal layers, they did not appear. This phenomenon was independent of whether the pigments were pure or mixed.

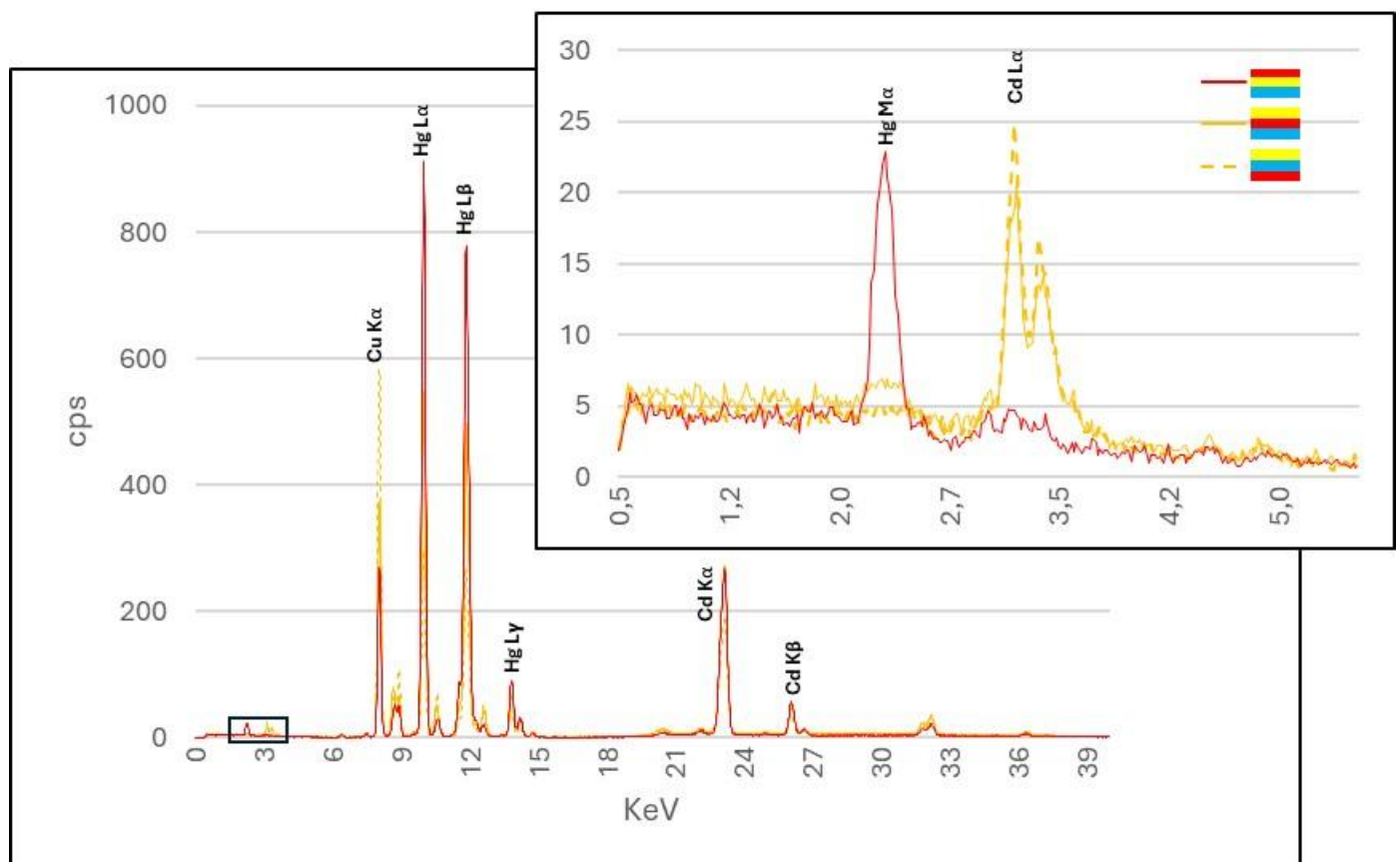


Figure 9. pXRF Spectra of model samples with cinnabar or cadmium yellow in the surface layer. red HgS, blue $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$, yellow CdS.

Two case studies: results

Two artworks (case study No.1 and No.2) have been analysed previously by our research group [2, 29], in situ, using pXRF and XRD so they were used to reinforce the laboratory data and support the pXRF findings. In each painting, specific colour areas were selected for analysis, containing some of the pigment mixtures discussed in the present research (lead white and cinnabar, and lead white and azurite). This approach ensures that the pXRF technique can effectively identify key pigment elements, even when they are unevenly distributed and mixed in varying concentrations, as is the case in real paintings.

The specific area chosen for Case Study No.1, which involves the painting *Boceto di Pablo Veronese*, was the red colour (points 1, 2, 27, 28) and flesh tone (points 3, 4, 5, 12, 14, 16, 17, 19, 24) (Figure 10a).

The identification of the chemical elements and the composition of the crystalline pigments in these areas (cinnabar, cerussite and hydrocerussite) was carried out by our research group [2] by using pXRF and XRD on measurements taken directly from the surface of the painting. The combined data from XRD results, the cinnabar map, and the XRF peaks such as Hg and Pb observed in the spectrum of Figure 11a, supported the findings of our study on laboratory samples.



Figure 10. Areas chosen for: a) Case Study No. 1: painting on copper support and b) for Case Study No. 2: painting on canvas.

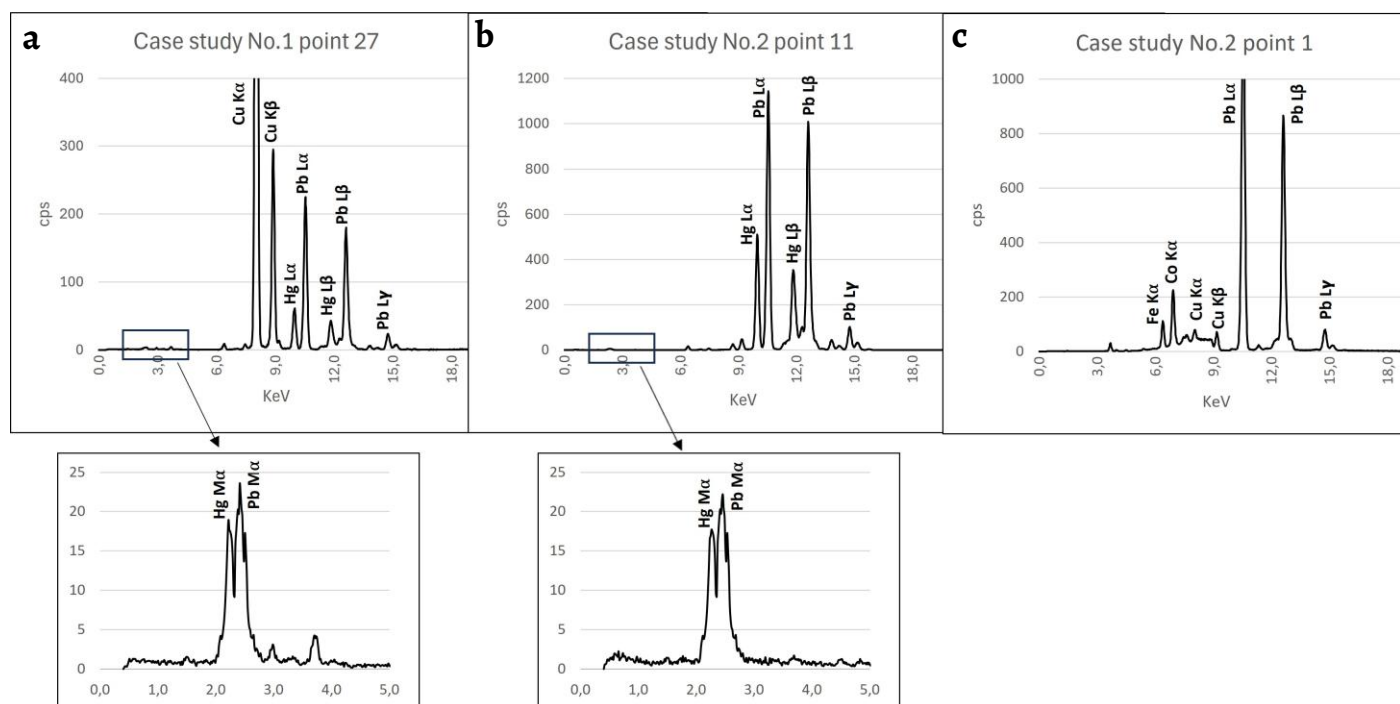


Figure 11. pXRF spectra corresponding to the following areas: a) Case study No.1: Point 27; b) Case study No.2 point 11; c) Case study No.2 point 1.

Table 1. Elements identified via pXRF associated with the ground and pictorial layers of the painting on canvas (case study No. 2). (M) major, (m) minor and (tr) trace elements.

Color	No.	Elements detected				
		Pb	Cu	Hg	Fe	Co
Blue	1	M	M	-	M	M
	2	M	M	-	M	M
	3	M	M	-	M	M
	4	M	M	-	M	M
	5	M	M	-	M	M
	6	M	M	-	M	M
Red	7	M	-	M	m	-
	8	M	-	M	M	-
	9	M	-	M	m	-
	10	M	-	M	m	-
	11	M	-	M	m	-
	12	M	-	M	M	-
	13	M	-	M	M	-
Flesh tone	14	M	-	m	tr	-
	15	M	-	M	tr	-
	16	M	-	M	tr	-
	17	M	-	tr	tr	-
	18	M	-	tr	tr	-
	19	M	-	tr	M	-
	20	M	-	m	tr	-
	21	M	-	tr	tr	-
	22	M	-	m	tr	-
	23	M	-	tr	tr	-

The areas selected for Case Study No. 2 (*The Little Madonna of Foligno*) include the blue, red, and flesh tones (Figure 10b). The results of the pXRF analysis are presented in Table 1, with selected spectra shown in Figure 11b-c. Pb and Hg were identified in the red area (points 7-13), attributed to vermilion or cinnabar (HgS); Pb and Cu in the blue area (points 1-6) attributed to azurite and lead white pigments ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ and $(\text{PbCO}_3)_2 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$), and Pb and Hg, with traces of Fe, in the flesh-coloured area (points 14-23) attributed to vermilion or cinnabar and lead white. These findings were corroborated using XRD results previously published by our research team [29], which identified cinnabar, cerussite, hydrocerussite, and azurite.

Additionally, as seen in Figure 11a-b, the peaks corresponding to the spectral lines $\text{HgM}\alpha$ and $\text{PbM}\alpha$ are present. As described in *Stratigraphical information obtained* section, their presence suggests that cinnabar and lead white pigments are located in the external layers.

Discussion

pXRF spectra from the samples analysed showed well-defined peaks without overlapping. However, the results showed that the matrix effect does indeed play a crucial role in the detection of pigments from complex multilayer samples using pXRF, because it can either enhance or attenuate the signal of an element in a pigment, depending on the surrounding materials and their composition. These effects occurred because both the analyte and the matrix can absorb and fluoresce in the X-ray region, which in turn affected the magnitude of the analyte signal.

The X-ray fluorescence signal decreased more when the analysed pigment was in the inner layer (up to 90 % in some cases, such as $\text{CuK}\alpha$), and the signal of the pigment in the outer layer decreased because of the nature of the pigments in the lower layers (up to 50 %). The attenuation of X-rays was justified since the X-rays produced in the fluorescence process are generated both in the atoms on the surface of the sample and in those within the sample. When a beam of X-ray photons passes through a material, some photons are attenuated in the interaction processes, reflecting the Beer-Lambert law. The intensity of both the incident X-ray beam and the fluorescent radiation is reduced due to absorption in the sample, which depends on the density, thickness, and mass attenuation coefficient of all the elements in the matrix. For samples of similar density and thickness, as in our experimental replica samples, the attenuation will depend mainly on the attenuation coefficient of the different elements that make up the sample, which in turn depends on the types of atoms present and the energy of the interacting photons. If the top layer contains a pigment containing a heavy element, like Hg in the case of cinnabar, this can absorb the X-rays emitted by a lighter element in another pigment from a lower layer, like azurite, reducing the signal of this latter pigment.

A significant reduction was observed in the X-ray fluorescence signals for $\text{HgL}\alpha$, $\text{CuK}\alpha$, $\text{CdK}\alpha$, and $\text{PbL}\alpha$ in binary, ternary, and quaternary mixtures (more than 50 % in all mixtures, reaching 95 % in the quaternary mixture). The X-ray fluorescence signals of each pigment in quaternary mixtures become so weak that it was difficult to detect individual pigments. The Pb signal in binary mixtures with azurite or cadmium yellow is barely modified (40 %), but with cinnabar, the influence of Hg on the X-ray fluorescence measurement of Pb was clear (75 %). The presence of lead white significantly affected the fluorescence signals of other pigments in the mixture, with varying degrees of impact depending on the particular pigment and the ratio used in the mixture (up to 80 %). If the pigments are not only mixed but are distributed in multilayers, the decrease in the X-ray fluorescence signal is greater than if they were pure pigments in multilayers.

On the other hand, the so-called enhancement effect caused by elements in the matrix is also observed, leading to higher-than-expected results. It occurs when the radiation from another element in the matrix causes a secondary excitation, one associated with an element with a higher atomic number than that of the fluorescent element [33]. Thus, when Cd and Hg

are measured together, that is, submitted to the same incident radiation, both elements are excited by the primary radiation, and the Cd atoms are also subjected to the Hg fluorescent radiation, which is sufficiently energetic to expel an inner electron of Cd atoms. This causes an increase in intensity over and above that due to the primary excitation, and an additional Cd emission is observed.

Finally, the results confirm that we can ascertain whether pigments with elements such as Pb, Cd and Hg are found in a surface layer or in an internal layer by reference to the spectral lines obtained in the XRF spectrum, independently of whether the pigments are pure or mixed. X-ray fluorescence (pXRF) spectrometry can thus be regarded as a well-established bulk analytical technique for assessing the total content of several chemical elements in many different types of samples.

Despite the detected signal being influenced by the sample's composition and geometry as described by the Beer-Lambert law, portable X-ray fluorescence remains a powerful tool for detecting and identifying elements in the studied pigments, even in complex or layered structures. The ability of pXRF to provide in situ, detailed elemental analysis without damaging the sample makes it particularly valuable in fields like art restoration and conservation.

Conclusions

The present research explores the challenges of using portable X-ray fluorescence analysis (pXRF) to detect, in situ, specific pigments like azurite, cinnabar, cadmium yellow, and lead white in complex stratigraphic layers and mixtures, as is typically found in historical paintings and polychrome sculptures. The research highlights how the intensity of the X-ray fluorescence radiation from elements like $HgL\alpha$ for cinnabar, $CuK\alpha$ for azurite, $CdK\alpha$ for cadmium yellow and $PbL\alpha$ for lead white can be affected in these complex stratigraphic structures. But pXRF analysis can identify the pigments in situ in a non-invasive manner, determining whether pigments with Pb, Hg or Cd are found in superficial layers or in internal layers. The findings from the experimental replica samples studied were applied in two real paintings used as case study, where the pigments (cinnabar, lead white and azurite) are in-homogeneously distributed and mixed in different concentrations. It can be concluded that in real paintings, the matrix effect on the measurement of the fluorescence signal does not prevent the identification of the key elements of these pigments by means of hand-held XRF instrumentation for in situ measurements. Furthermore, in real paintings, it has been possible to identify whether those containing Pb, Hg, and Cd are located at the surface level or in an internal layer.

Acknowledgements

We thank the research group FQM-338.

Data availability statement

The data presented in this study are available on request from the corresponding author.

REFERENCES

1. West, M.; Ellis, A.T.; Potts, P. J.; Strelcić, C.; Vanhoof, C.; Wobrauschek, P., 'Atomic spectrometry update – a review of advances in X-ray fluorescence spectrometry and their applications', *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* **30**(9) (2015) 1839-1889, <https://doi.org/10.1039/C5JA90033F>.
2. Blanc, R.; Manzano, E.; López-Montes, A.; Domínguez-Gasca, N.; Vílchez, J.L., 'Non-invasive study of the pigments of a painting on copper with the inscription "Boceto di Pablo Veronese" on the back', *Heritage* **6**(6) (2023) 4787-4801, <https://doi.org/10.3390/heritage6060254>.

3. Leutenegger, P.; Longoni, A.; Fiorini, C.; Strüder, L.; Kemmer, J.; Lechner, P.; Cesaro, R., 'Works of art investigation with silicon drift detectors', *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A* **439**(2-3) (2000) 458-470, [https://doi.org/10.1016/S0168-9002\(99\)00908-0](https://doi.org/10.1016/S0168-9002(99)00908-0).
4. Ferrero, J. L.; Roldán, C.; Ardid, M.; Navarro, E., 'X-ray fluorescence analysis of yellow pigments in altarpieces by Valencian artists of the XV and XVI centuries', *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A* **422**(1-3) (1999) 868-873, [https://doi.org/10.1016/S0168-9002\(98\)01125-5](https://doi.org/10.1016/S0168-9002(98)01125-5).
5. Orsilli, J.; Caglio S., 'Combined scanned macro X-ray fluorescence and reflectance spectroscopy mapping on corroded ancient bronzes', *Minerals* **14**(2) (2024) 192-205, <https://doi.org/10.3390/min14020192>.
6. Alberghina, M. F.; Zicarelli, M. A.; Randazzo, L.; Schiavone, S.; La Russa, M. F.; Labriola, M.; Ricca, M., 'Byzantine wall paintings from San Marco d'Alunzio, Sicily: non-invasive diagnostics and microanalytical investigation of pigments and plasters', *Heritage Science* **12**(1) (2024) 184-201, <https://doi.org/10.1186/s40494-024-01308-z>.
7. Harth, A., 'X-ray fluorescence (XRF) on painted heritage objects: a review using topic modeling', *Heritage Science* **12**(1) (2024) 17-29, <https://doi.org/10.1186/s40494-024-01135-2>.
8. Bonizzoni, L.; Colombo, C.; Ferrati, S.; Gargano, M.; Greco, M.; Ludwig, N.; Realini, M., 'A critical analysis of the application of EDXRF spectrometry on complex stratigraphies', *X-Ray Spectrometry* **40**(4) (2011) 247-253, <https://doi.org/10.1002/xrs.1320>.
9. Tykot, R., 'Using non-destructive portable X-ray fluorescence spectrometers on stone, ceramics, metals, and other materials in museums: advantages and limitations', *Applied Spectroscopy* **70**(1) (2016) 42-56, <https://doi.org/10.1177/0003702815616745>.
10. Shugar, A. N.; Mass, J. L., *Handheld XRF for art and archaeology*, Leuven University Press, Leuven (2012).
11. Sugihara, K.; Tamura, K.; Satoh, M.; Hayakawa, Y.; Hirao, Y.; Miura, S.; Tokugawa, Y., 'Analysis of pigments used in scroll paintings of a national treasure "Tale of Genji" using a portable x-ray fluorescence spectrometer', *Advances in X-ray Analysis* **44** (2001) 432-441.
12. Bettinelli, M.; Taina, P., 'Rapid analysis of coal fly ash by x-ray fluorescence spectrometry', *X-Ray Spectrometry* **19**(5) (1990) 227-232, <https://doi.org/10.1002/xrs.1300190505>.
13. Ferrero, J. L.; Roldán, C.; Juanes, D.; Rollano, E.; Morera, C., 'Analysis of pigments from Spanish works of art using a portable EDXRF spectrometer', *X-Ray Spectrometry* **31**(6) (2002) 441-447, <https://doi.org/10.1002/xrs.604>.
14. Frahm, E.; Doonan, R. C., 'The technological versus methodological revolution of portable XRF in archaeology', *Journal of Archaeological Science* **40**(2) (2013) 1425-1434, <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.10.013>.
15. Galli, A.; Bonizzoni, L., 'True versus forged in the cultural heritage materials: the role of analysis', *X-Ray Spectrometry* **43**(1) (2014) 22-28, <https://doi.org/10.1002/xrs.2461>.
16. Manhas, M.; Tomar, A.; Tiwari, M.; Sharma, S., 'Application of X-ray fluorescence in forensic archaeology: a review', *X-Ray Spectrometry* **54**(1) (2025) 26-37, <https://doi.org/10.1002/xrs.3421>.
17. Fontana, D.; Alberghina, M. F.; Barraco, R.; Basile, S.; Tranchina, L.; Brai, M.; Troja, S. O., 'Historical pigments characterisation by quantitative X-ray fluorescence', *Journal of Cultural Heritage* **15**(3) (2014) 266-274, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2013.07.001>.
18. Shibata, Y.; Suyama, J.; Kitano, M.; Nakamura, T., 'X-ray fluorescence analysis of Cr, As, Se, Cd, Hg, and Pb in soil using pressed powder pellet and loose powder methods', *X-Ray Spectrometry* **38**(5) (2009) 410-416, <https://doi.org/10.1002/xrs.1195>.
19. Narman Han, E.; Boydaş, E., 'Characterization of matrix effects for Pb L-shell energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) in binary compounds of cadmium, copper, molybdenum, and zinc', *Instrumentation Science & Technology* **49**(6) (2021) 616-62, <https://doi.org/10.1080/10739149.2021.1923029>.
20. Bonizzoni, L., 'ED-XRF analysis for cultural heritage: is quantitative evaluation always essential?', *Journal of Physics Conference Series* **630**(1) (2015) 012001, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/630/1/012001>.
21. Mantler, M.; Schreiner, M., 'X-ray fluorescence spectrometry in art and archaeology', *X-Ray Spectrometry* **29**(1) (2000) 3-17, [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4539\(200001/02\)29:1%3C3::AID-XRS398%3E3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4539(200001/02)29:1%3C3::AID-XRS398%3E3.0.CO;2-O).
22. De Viguier, L.; Sole, V. A.; Walter, P., 'Multilayers quantitative X-ray fluorescence analysis applied to easel paintings', *Analytical and Bioanalytical Chemistry* **395** (2009) 2015-2020, <https://doi.org/10.1007/s00216-009-2997-0>.
23. Bonizzoni, L.; Galli, A.; Milazzo, M., 'XRF analysis without sampling of Etruscan depurata pottery for provenance classification', *X-Ray Spectrometry* **39**(5) (2010) 346-352, <https://doi.org/10.1002/xrs.1263>.
24. Giurlani, W.; Berretti, E.; Lavacchi, A.; Innocenti, M., 'Thickness determination of metal multilayers by ED-XRF multivariate analysis using Monte Carlo simulated standards', *Analitica Chimica Acta* **1130** (2020) 72-79, <https://doi.org/10.1016/j.aca.2020.07.047>.
25. Pessanha, S.; Guilherme, A.; Carvalho, M. L., 'Comparison of matrix effects on portable and stationary XRF spectrometers for cultural heritage samples', *Applied Physics A* **97** (2009) 497-505, <https://doi.org/10.1007/s00339-009-5251-x>.
26. Manzano, E.; Blanc, R.; Martín-Ramos, J. D.; Chiari, G.; Sarrazin, P.; Vilchez, J. L., 'A combination of invasive and non-invasive techniques for the study of the palette and painting structure of a copy of Raphael's Transfiguration of Christ', *Heritage Science* **9** (2021) 150, <https://doi.org/10.1186/s40494-021-00623-z>.
27. Cesaro, R.; De Assis, J. T.; Roldán, C.; Bustamante, A. D.; Brunetti, A.; Schiavon, N., 'Multilayered samples reconstructed by measuring $K\alpha/K\beta$ or $L\alpha/L\beta$ X-ray intensity ratios by EDXRF', *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B* **312** (2013) 15-22, <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2013.06.019>.
28. Karimi, M.; Amiri, N.; Tabbakh Shabani, A. A., 'Thickness measurement of coated Ni on brass plate using $K\alpha/K\beta$ ratio by XRF spectrometry', *X-Ray Spectrometry* **38**(3) (2009) 234-238, <https://doi.org/10.1002/xrs.1146>.

29. Martín-Ramos, J. D.; Zafra-Gómez, A.; Vilchez, J. L., 'Non-destructive pigment characterization in the painting Little Madonna of Foligno by X-ray powder diffraction', *Microchemical Journal* **134** (2017) 343-353, <https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.07.001>.
30. Feller, R. L., *Artists' pigments: a handbook of their history and characteristics*, vol. 47, National Gallery of Art, Washington (1986).
31. Mosca, S.; Frizzi, T.; Pontone, M.; Alberti, R.; Bombelli, L.; Capogrosso, V.; Nevin, A.; Valentini, G.; Comelli, D., 'Identification of pigments in different layers of illuminated manuscripts by X-ray fluorescence mapping and Raman spectroscopy', *Microchemical Journal* **124** (2016) 775-784, <https://doi.org/10.1016/j.microc.2015.10.038>.
32. Ruberto, C.; Mazzinghi, A.; Massi, M.; Castelli, L.; Czelusniak, C.; Palla, L.; Gelli N.; Betuzzi, M.; Impallaria, A.; Brancaccio, R.; Peccenini, E.; Raffaelli, M., 'Imaging study of Raffaello's "La Muta" by a portable XRF spectrometer', *Microchemical Journal* **126** (2016) 63-69, <https://doi.org/10.1016/j.microc.2015.11.037>.
33. Shackley, M. S., 'An introduction to X-Ray fluorescence (XRF) analysis in archaeology', *X-ray fluorescence spectrometry (XRF) in geoarchaeology*, ed. M. S. Shackley, Springer, New York (2012) 18-24.

RECEIVED: 2025.6.5

REVISED: 2025.11.13

ACCEPTED: 2025.12.8

ONLINE: 2026.6.2



This work is licensed under the Creative Commons
Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>.

Aplicación de luz UV-C 222 nm como estrategia para el control del biodeterioro en especímenes preservados en líquido

Aplicação de luz UV-C 222 nm como estratégia para o controlo da biodeterioração em espécimes preservados em líquido

Application of UV-C 222 nm light as a strategy for the control of biodeterioration in specimens preserved in liquid

MARÍA ALEJANDRA

GONZALEZ ^{1*} 

NELSY R. PINTO-SANCHEZ ^{1,2}

MARÍA CAMILA PATIÑO

RAMIREZ ³ 

1. Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas, Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá, Colombia

2. Semillero de Evolución y Conservación (SEC), Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas, Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá, Colombia

3. Facultad de Estudios del Patrimonio Cultural, Universidad Externado de Colombia, Bogotá, Colombia

*malejagon14@hotmail.com

Resumen

Las colecciones biológicas son repositorios en los cuales se almacenan registros de biodiversidad. Los procesos de biodeterioro a los que están expuestos los especímenes representan pérdidas de información, por lo tanto, es de crucial importancia evaluar tratamientos para mitigar el daño. El presente estudio evaluó la aplicación de luz UV-C 222 nm como estrategia para el control del biodeterioro microbiano en ejemplares de una colección zoológica en Colombia. Se aislaron microorganismos presentes en la superficie de especímenes y se identificaron mediante la amplificación del gen 16S rDNA y tinción de Gram. Para evaluar la actividad antimicrobiana se indujo el crecimiento de los microorganismos sobre perlas de vidrio expuestas a diferentes tiempos de exposición a luz UV-C 222 nm. Los resultados mostraron una inhibición de hasta 99,68 % en especies de *Bacillus*. Estos hallazgos respaldan el uso de la luz UV-C 222 nm como una alternativa para mitigar el biodeterioro en colecciones biológicas preservadas en líquido.

Resumo

As coleções biológicas são repositórios para armazenar registros de biodiversidade. Os processos de biodeterioração a que os espécimes estão expostos representam uma perda de informação; por isso, é crucial avaliar tratamentos para mitigar estes danos. Este estudo avaliou a aplicação de luz UV-C 222 nm como estratégia para controlar a biodeterioração microbiana em espécimes de uma coleção zoológica na Colômbia. Para tal, os microrganismos presentes na superfície dos espécimes foram isolados e identificados por amplificação do gene 16S rDNA e coloração de Gram. Para avaliar a atividade antimicrobiana, os microrganismos foram colocados em esferas de vidro expostas a diferentes tempos de irradiação com luz UV-C 222 nm. Os resultados mostraram uma inibição de até 99,68 % nas espécies de *Bacillus*. Estes achados apoiam o uso de luz UV-C 222 nm como alternativa para mitigar a biodeterioração em coleções preservadas em líquido.

Abstract

Biological collections are repositories for storing biodiversity records. The biodeterioration processes to which specimens are exposed represent a loss of information; therefore, it is crucial to evaluate treatments to mitigate this damage. This study assessed the application of 222 nm UV-C light as a strategy for controlling microbial biodeterioration in specimens from a zoological collection in Colombia. To this end, microorganisms present on the surface of specimens were isolated and identified by 16S rDNA gene amplification and Gram staining. To evaluate antimicrobial activity, microorganisms were placed on glass beads exposed to different irradiation times with 222 nm UV-C light. The results showed an inhibition of up to 99.68 % in *Bacillus* species. These findings support the use of 222 nm UV-C light as an alternative to mitigate biodeterioration in collections preserved in liquid.

PALABRAS-CLAVE

Colecciones biológicas

Bacillus

Radiación

Preservación

PALAVRAS-CHAVE

Coleções biológicas

Bacillus

Radiação

Preservação

KEYWORDS

Biological collections

Bacillus

Radiation

Preservation

Introducción

Las colecciones biológicas cumplen un papel fundamental como registros de la biodiversidad a nivel mundial. Tales colecciones están almacenadas bajo condiciones que buscan asegurar su integridad [1]. En Colombia, existen más de un millón de ejemplares vertebrados depositados en distintas instituciones, muchos de ellos preservados en soluciones líquidas como el etanol [2]. La técnica de preservación con etanol es efectiva para conservar especímenes recolectados, sin embargo, enfrenta una amenaza denominada biodeterioro.

El fenómeno del biodeterioro es causado por la actividad metabólica de microorganismos que, en condiciones favorables, causan alteraciones en las propiedades del espécimen, como el color, estructura y caracteres externos [3]. El mecanismo de acción de los microorganismos consiste en la degradación de los lípidos y proteínas que componen los tejidos de los especímenes zoológicos [4]. El biodeterioro es favorecido por múltiples factores, entre ellos, la contaminación durante la manipulación, la calidad del líquido conservante y la resistencia inherente de ciertos microorganismos al etanol.

Frente a esta situación, se han planteado diversas estrategias para mitigar el biodeterioro microbiano, entre ellas se destacan el uso de agentes químicos como biocidas tradicionales, la incorporación de aceites esenciales con propiedades antimicrobianas y métodos físicos como el choque térmico [5]. No obstante, estas alternativas suelen ser nocivas y no lograr erradicar por completo los microorganismos, lo que resulta en la persistencia de trazas latentes, aumentando así el riesgo de una posterior colonización de los ejemplares tratados [6].

Por lo mencionado, el uso de la luz UV-C 222 nm es una alternativa novedosa para mitigar el biodeterioro en colecciones. La luz UV-C 222 nm como método de desinfección ha sido ampliamente estudiado mostrando resultados efectivos en la inhibición de la actividad bacteriana, sin inducir lesiones mutagénicas en el tejido tratado [7]. En contraste, longitudes de onda convencionales como la de 254 nm han demostrado causar lesiones en la piel [8]. Sin embargo, la evidencia sobre los efectos a largo plazo de la radiación UV-C 222 nm en materiales de conservación orgánica es limitada, lo cual podría representar una restricción importante para su aplicación en especímenes preservados.

Por ende, este trabajo tuvo como objetivo principal evaluar la aplicación de luz UV-C 222 nm como estrategia para el control del biodeterioro microbiano en ejemplares pertenecientes a una colección zoológica en Colombia. De manera complementaria, otro estudio relacionado [9] abordó la aplicación directa de esta radiación sobre especímenes preservados en líquido, mientras que el presente trabajo se centra en la evaluación de su efecto antimicrobiano bajo condiciones controladas. En conjunto, ambos enfoques contribuyen al desarrollo de nuevas estrategias para la conservación de colecciones biológicas preservadas en líquido y a la protección de los registros de biodiversidad que representan.

Materiales y métodos

Revisión, selección y diagnóstico de especímenes

Inicialmente, se realizó una revisión de los 645 especímenes conservados en etanol que conforman la colección. A partir de esta revisión, se seleccionaron aquellos ejemplares que presentaban posibles indicadores de crecimiento microbiano, según criterios de observación visual entre los cuales destacaban cambios en el color y turbidez del líquido presevante, así como la presencia de crecimiento microbiano visible en la superficie de los especímenes (capas lisas de colores claros). De los especímenes seleccionados, se tomaron muestras tres muestras por individuo mediante la técnica de hisopado, con el fin de evaluar la presencia de microorganismos sobre su superficie [10]. Posteriormente, las muestras obtenidas se sembraron en Agar Nutritivo a 37 °C y Agar Sabouraud a 25 °C durante 7 días, ya que estas

condiciones favorecen el crecimiento de bacterias mesófilas y hongos ambientales, respectivamente.

El Agar Sabouraud se incluyó con el fin de verificar la posible presencia de hongos, dado que este medio favorece su crecimiento. Sin embargo, no se evidenció desarrollo fúngico en las muestras, observándose únicamente crecimiento bacteriano. Es importante mencionar, que todas las siembras se realizaron por triplicado para garantizar la reproducibilidad de los resultados. Una vez obtenido crecimiento bacteriano, las colonias fueron purificadas mediante técnicas de dilución seriada y siembra por agotamiento, y se caracterizaron tanto macroscópica como microscópicamente, esta última mediante la tinción de Gram. Análisis molecular de microorganismos aislados de los ejemplares.

Tras el aislamiento de los microorganismos puros, estos fueron almacenados a una temperatura de 3,5 °C para su posterior transporte al Laboratorio Instrumental de Alta Complejidad (LIAC) de la Universidad de La Salle, entidad externa responsable del proceso de identificación molecular.

Como paso inicial, se llevó a cabo la extracción del ADN bacteriano utilizando un kit comercial (QIAGEN), siguiendo los protocolos estándar del LIAC. Este proceso incluyó la lisis celular para liberar el ADN y su posterior purificación. Es importante mencionar, que antes de la amplificación, la concentración y calidad del ADN fueron verificadas mediante espectrofotometría y observación en gel de agarosa. Posteriormente, el ADN extraído se utilizó para la amplificación del gen 16S rDNA mediante PCR, empleando los cebadores 27F(5'-AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3') y 1492R(5'-TACGGYTACCTTGTTACGACTT-3'). Previo a la amplificación, la concentración y calidad del ADN fueron verificadas mediante espectrofotometría y observación en gel de agarosa, con el fin de asegurar la integridad del material genético y la pureza adecuada para la reacción de PCR.

El producto amplificado fue purificado y secuenciado mediante la técnica de Sanger [11]. Finalmente, las secuencias fueron analizadas con el programa BLAST Nucleotide, que realizó comparaciones con la base de datos del NCBI para la identificación de los microorganismos. Las secuencias se encuentran depositadas en NCBI/GenBank bajo los siguientes números de acceso: PX556869, PX556870, PX556871, PX556872, PX556873, PX556874 y PX556875.

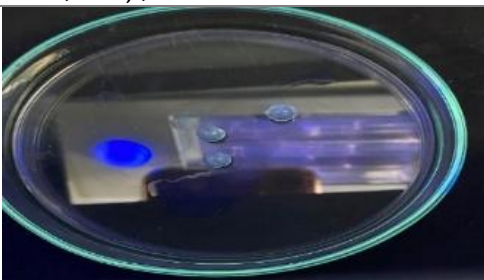
Aplicación y evaluación del efecto antimicrobiano de la luz UV-C 222 nm

Para aplicar y evaluar el efecto antimicrobiano de la luz UV-C 222 nm, se seleccionaron los microorganismos aislados de los especímenes. Considerando que los microorganismos forman biopelículas sobre la superficie de los ejemplares biológicos, se adaptó la metodología de Alharbi [12], para determinar la capacidad de la luz UV-C 222 nm para inhibir el crecimiento microbiano en especímenes conservados en líquido.

Para tal fin se realizó cultivo en caldo CASO (caldo caseína-soya, un medio nutritivo no selectivo de uso general) para cada microorganismo (10 ml de caldo con 3 colonias en cada tubo), el cual permaneció en incubación 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 tubo Eppendorf se inoculó con 100 µl del cultivo y se llevó a incubación durante 5 días a 37 °C [13]. 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 pueda impactar directamente sobre la superficie de la biopelícula (tres perlas por cada tratamiento y tres perlas de control sin exposición).

Es importante mencionar que las perlas se mantuvieron en la misma posición al momento de la irradiación. Dado que esta posición puede generar variaciones en la intensidad recibida, se recomienda que futuros estudios incorporen sistemas de rotación o agitación durante la exposición a la luz UV-C. Esto permitiría asegurar una irradiación más homogénea en toda la superficie de las perlas y evaluar con mayor precisión la eficacia real del tratamiento.

Tabla 1. Montaje de pruebas para la evaluación del efecto antimicrobiano.

Cámara de exposición	Perlas (montaje)
	

Se probaron diferentes tiempos de exposición a la luz UV los cuales se manejaron desde 5 a 35 minutos, con un aumento cada 10 minutos (5, 15, 25 y 35 min) [14-15]. De igual manera, se evaluó una distancia de exposición correspondiente a 8 cm bajo la lámpara que emite radiación ultravioleta de 222 nm, con irradiancia de 24,87 mW/cm² en la superficie de exposición para comprobar el efecto sobre los microorganismos de prueba [16]. Los tratamientos previamente descritos se aplicaron en una cámara de exposición construida con madera y una apertura para la lámpara UV (Gerani Far-UV Light, UV-CAN) (Tabla 1).

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 desprendimiento de los microorganismos sobre las perlas, utilizando vortex por tres minutos. De los tubos con los respectivos tratamientos, se realizaron diluciones seriadas. Posteriormente, se sembraron 0,1 ml en agar nutritivo por cada caja de Petri para el recuento de UFC/ml (Unidades formadoras de colonia sobre mililitro). Se calculó el porcentaje de inhibición con respecto al control sin exposición a la luz UV.

$$\text{Porcentaje de inhibición} = \frac{(\text{Control} - \text{Tratamiento})}{\text{Control}} \times 100$$

Análisis estadístico

Considerando que los datos no siguieron una distribución normal y los valores presentes en el eje x fueron categóricos, se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (H) para evaluar si el porcentaje de inhibición varía con respecto a los tiempos de exposición [17]. 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.

Resultados

Revisión, selección y diagnóstico de especímenes

Al inicio del estudio se examinaron 645 especímenes conservados en etanol. De este conjunto, se seleccionaron 18 ejemplares pertenecientes a aves, anfibios y reptiles que presentaban posibles señales de biodeterioro, como superficies viscosas y estructuras filamentosas. Sin embargo, tras llevar a cabo el proceso de muestreo, solo cuatro especímenes mostraron crecimiento bacteriano, lo que permitió confirmar la presencia de biodeterioro en ellos. Estos casos incluyeron un ejemplar de cada uno de los siguientes grupos: ave, reptil, anfibio y mamífero como se puede evidenciar en la Tabla 2.

Tabla 2. Diagnóstico de biodeterioro en especímenes de la colección de zoología “José Ricardo Cure Hakim” de la Universidad Militar Nueva Granada.

Grupo taxonómico identificado	Indicadores de biodeterioro	Registro
M-077 (Chiroptera: <i>Mimon</i>)	Presencia de capa blanca de consistencia viscosa sobre la superficie del espécimen. Turbidez amarillenta en el líquido conservante (etanol).	
Av-068 (Passeriformes: <i>Catharus</i>)	Presencia de capa café de consistencia viscosa y adherente sobre el espécimen. Turbidez amarilla en el líquido conservante (etanol).	
A-013 (Anura: <i>Rhaebo</i>)	Presencia de capa filamentosa de color verde claro sobre la superficie del espécimen.	
R-047 (Squamata: <i>Gonatodes</i>)	Presencia de capa blanca de consistencia viscosa sobre la superficie del espécimen	

Análisis morfológico de los microorganismos aislados de los ejemplares

El análisis morfológico de los microorganismos presentes en las muestras recolectadas en el numeral anterior, teniendo en cuenta las características macroscópicas de las colonias y la tinción de Gram, permitió detectar un total de cuatro morfotipos bacterianos diferentes, todos correspondientes a bacilos Gram positivos (Figura 1). Las colonias presentaron variaciones en tamaño, color y borde entre los aislamientos, y en el caso del ejemplar A-013 se observaron bacilos Gram positivos formadores de endosporas (Figura 1c). Es importante mencionar que en ninguno de los cultivos en agar Sabouraud se observó crecimiento fúngico. Este resultado puede explicarse por varios factores, entre ellos el efecto antifúngico del etanol utilizado como líquido de preservación, que podría reducir la viabilidad de esporas fúngicas asociadas a los ejemplares, así como un tamaño de muestra limitado [18].

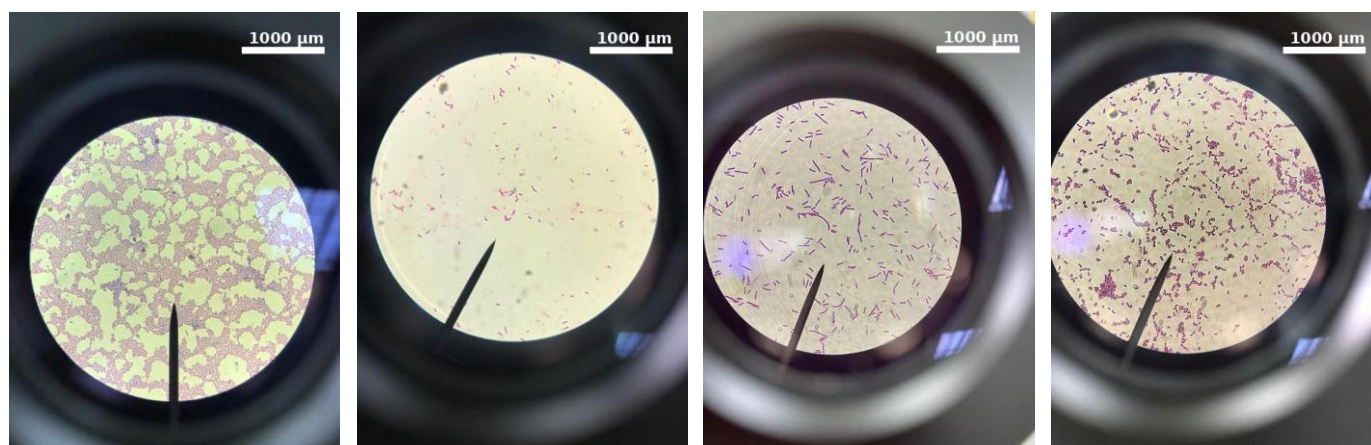


Figura 1. Vista microscopica de las colonias bacterianas aisladas de los ejemplares. a) M-077 (Chiroptera: *Mimon*); b) Av-068 (Passeriformes: *Catharus*); c) A-013 (Anura: *Rhaebo*); d) R-047 (Squamata: *Gonatodes*).

Análisis molecular de microorganismos aislados de los ejemplares

Las bacterias aisladas fueron secuenciadas utilizando amplificación en el gen 16S rDNA. La amplificación permitió la identificación de distintas especies bacterianas con altos niveles de similitud, reflejados en los porcentajes de identidad obtenidos mediante el programa BLAST Nucleotide (Tabla 3).

Tabla 3. Identificación de especies bacterianas aisladas mediante secuenciamiento del gen 16S rDNA. Identificación de ejemplares. El porcentaje de identidad se refiere a que tan parecidas son dos secuencias de ADN, siendo 100 %=idénticas y 0 %= totalmente diferentes.

Ejemplar	Especie identificada	Porcentaje de identidad (%)
M-077 (Chiroptera: <i>Mimon</i>)	<i>Bacillus tequilensis</i>	99,36
	<i>Bacillus subtilis</i> subsp. <i>Subtilis</i>	
	<i>Bacillus siamensis</i>	
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	
	<i>Bacillus subtilis</i>	
Av-068 (Passeriformes: <i>Catharus</i>)	<i>Bacillus velezensis</i>	99,77
	<i>Bacillus subtilis</i>	
	<i>Bacillus tequilensis</i>	
	<i>Bacillus licheniformis</i>	
A-013 (Anura: <i>Rhaebo</i>)	<i>Bacillus safensis</i>	99,58
R-047 (Squamata: <i>Gonatodes</i>)	<i>Bacillus subtilis</i>	99,37
	<i>Bacillus tequilensis</i>	
	<i>Bacillus sonorensis</i>	
	<i>Bacillus rugosus</i>	
	<i>Bacillus velezensis</i>	

Es importante mencionar que en los casos en que BLAST arrojó varias especies con el mismo porcentaje de identidad, consideramos que todas esas posibles asignaciones taxonómicas tenían la misma probabilidad, es decir, que cada especie era igualmente probable.

Aplicación y evaluación del efecto antimicrobiano de la luz UV-C 222 nm

Las bacterias extraídas y analizadas a partir de los ejemplares de la colección alcanzaron una reducción de 2 a 3 unidades logarítmicas en la concentración de UFC/ml respecto al control (concentración inicial). A los 5 minutos de exposición a luz UV-C 222 nm, la reducción varía entre 1 y 2 unidades logarítmicas, mientras que, a los 15 minutos de exposición a luz UV-C222 nm, la disminución comienza a acercarse a las 3 unidades logarítmicas en las bacterias evaluadas. Se evidencia que, en el control, donde no hay exposición a la luz UV-C 222 nm, la concentración de bacterias es elevada (Figura 2). A partir de los 5 minutos de exposición a la luz UV-C 222 nm, se observa una disminución de la concentración bacteriana. Este descenso alcanza los valores más bajos en los tiempos prolongados correspondientes a 25 y 35 minutos.

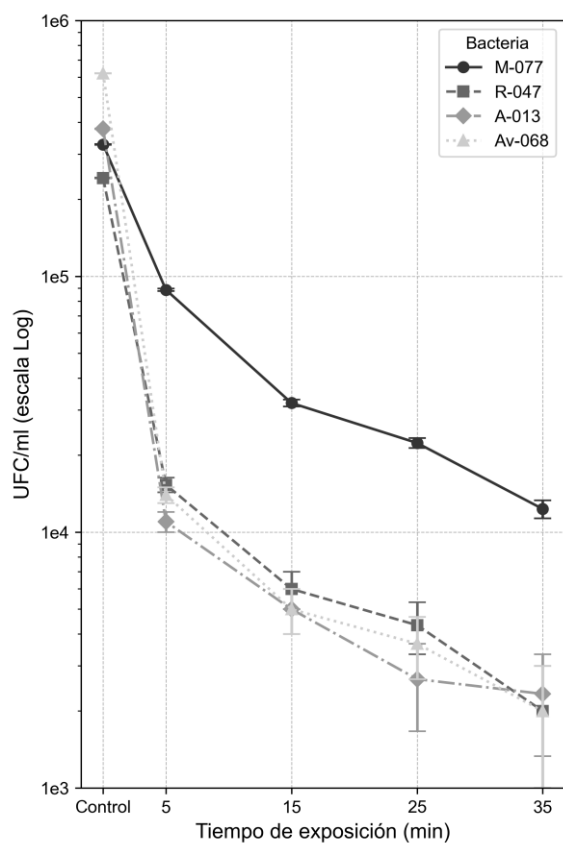


Figura 2. Recuento en placa en función del tiempo de exposición a luz UV-C 222 nm de bacterias aisladas de ejemplares. Identificación de ejemplares de la colección de zoología “José Ricardo Cure Hakim” de la Universidad Militar Nueva Granada.

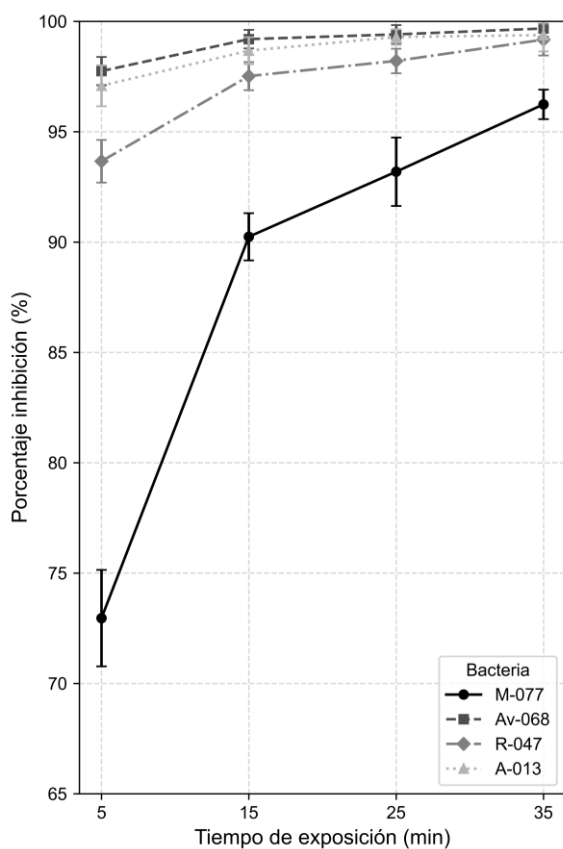


Figura 3. Porcentaje de inhibición de bacterias aisladas a partir de los ejemplares tras la exposición a luz UV-C 222 nm en diferentes tiempos. Identificación de ejemplares de la colección de zoología “José Ricardo Cure Hakim” de la Universidad Militar Nueva Granada.

En relación con los porcentajes de inhibición del crecimiento bacteriano obtenidos para cada una de las bacterias aisladas por ejemplar, se observó que a partir de los 5 minutos de exposición a luz UV-C 222 nm, la mayoría de las cepas bacterianas alcanzaron niveles de inhibición cercanos al 90 %. A los 15 minutos de exposición, los porcentajes de inhibición aumentaron considerablemente, acercándose al 99 % en la mayoría de los casos. Es importante mencionar que este patrón no se evidenció para la bacteria aislada de un mamífero (M-077), ya que esta inicia con inhibición del 72 % a los 5 minutos y termina con inhibiciones cercanas al 96 % a los 35 minutos de exposición a luz UV-C 222 nm (Figura 3).

Para evaluar la existencia de diferencias significativas entre los distintos tiempos de exposición, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis (H), la cual evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($H = 11.09$, $p = 0.012$). Posteriormente, se realizó un análisis post hoc mediante la prueba de Dunn, identificándose diferencias significativas únicamente entre los tratamientos de 5 y 15 minutos de exposición ($p = 0.015$). A partir de los 15 minutos, no se detectaron diferencias significativas entre los grupos, lo que sugiere que los niveles de inhibición se estabilizan y permanecen similares en tiempos de exposición mayores.

Discusión

Diagnóstico y caracterización de indicadores de biodeterioro

Únicamente 4 de los 18 especímenes con indicadores visuales de biodeterioro mostraron crecimiento de microorganismos (bacterias) en el medio nutritivo, confirmando así la existencia de biodeterioro microbiano. Lo anterior puede explicarse por diversos factores. En primer lugar, el crecimiento microbiano depende de condiciones ambientales específicas, como humedad, temperatura y composición del sustrato, las cuales deben ser favorables para su desarrollo. Por otra parte, los signos visibles de biodeterioro pueden tener orígenes no biológicos, como reacciones químicas provocadas durante la conservación de los especímenes [19].

En algunos de los especímenes que no presentaron crecimiento microbiano se observaron capas viscosas de color rosado y amarillo, que podrían haberse originado por la descomposición de compuestos orgánicos en el líquido conservante (etanol). Además, la presencia de capas filamentosas sobre los especímenes puede deberse a la manipulación y/o al propio animal en el momento de la colecta. En el ambiente natural, los especímenes pueden portar residuos de materia orgánica o material externo adherido a su superficie, lo que posteriormente puede dar lugar a la formación de estas capas en condiciones de almacenamiento. Por lo anterior, es fundamental complementar los análisis visuales con estudios microbiológicos para lograr una evaluación precisa del biodeterioro en colecciones biológicas.

En este contexto, no basta con constatar la presencia de microorganismos en el ambiente de conservación, sino que es necesario distinguir entre contaminación ambiental y una actividad de biodeterioro. Algunas especies de *Bacillus* pueden actuar como contaminantes transitorios, sin desempeñar un papel activo en la degradación de los tejidos preservados. Por ello, la interpretación de los aislamientos debe considerar el contexto ecológico en el que se detectan (por ejemplo, su recurrencia en zonas visiblemente dañadas, su capacidad enzimática y su compatibilidad con las condiciones físico-químicas del medio de conservación), antes de atribuirles un efecto directo sobre el biodeterioro [20]. Estas dos situaciones se diferencian porque la contaminación ambiental corresponde a microorganismos presentes de manera transitoria sin causar daño directo, mientras que la actividad de biodeterioro implica un crecimiento activo del microorganismo sobre el material, utilizando sus componentes como sustrato y produciendo degradación observable.

Análisis molecular de microorganismos aislados de los ejemplares

Se identificó que los microorganismos aislados de los ejemplares pertenecen al género *Bacillus*. Es importante resaltar que el marcador 16S rDNA tiene una resolución limitada para determinar especies dentro del grupo *Bacillus*, por lo tanto, no permite una identificación completa a nivel de especie. Debido a esta restricción, en este estudio los aislamientos se reportan de manera general como *Bacillus sp.* La asignación taxonómica a nivel de especie requeriría el uso de marcadores de mayor resolución o aproximaciones de genómica completa que se deben tener en cuenta en futuros estudios.

El género *Bacillus* ha sido registrado en diversos estudios relacionados con microorganismos presentes en colecciones zoológicas preservadas en líquido. Se ha reportado la presencia de estas bacterias en plumas y piel de aves [3]. De manera similar, se ha evidenciado la presencia de *Bacillus* en la piel de anfibios y reptiles conservados en colecciones zoológicas [21] lo que respalda los resultados obtenidos en el presente estudio. Además, se ha descrito que este género contribuye al biodeterioro de especímenes debido a su actividad enzimática. Algunas especies como *Bacillus amyloliquefaciens* y *Bacillus subtilis*, presentan una alta producción de proteasas, enzimas capaces de descomponer proteínas estructurales como el colágeno y la queratina, presentes en la piel de mamíferos, las plumas de aves y las escamas de reptiles [22].

Dando continuidad a las investigaciones sobre microorganismos presentes en colecciones biológicas, se han reportado hallazgos relevantes en otros contextos de conservación. Se han descrito especies como *Bacillus cereus* y *Bacillus thuringiensis* en una colección anatómica preservada en líquido (formaldehído) [23]. Estos resultados difieren parcialmente de los obtenidos en el presente estudio, donde no se detectaron dichas especies, posiblemente debido a diferencias en los tipos de especímenes evaluados o en el tipo de líquido preservante utilizado (etanol en este caso). No obstante, ambos trabajos coinciden en la presencia constante del género *Bacillus* en entornos de conservación, lo que refuerza su papel como un grupo microbiano recurrente en estas condiciones.

Una investigación realizada en el Museo de Auschwitz examinó el aire presente en los gabinetes donde se almacenan colecciones biológicas y evidenció que el 46 % de las muestras contenían especies como *Bacillus licheniformis* y otras pertenecientes al mismo género [24]. Asimismo, los análisis del polvo sedimentado en estos espacios confirmaron la presencia de bacilos grampositivos formadores de endosporas, lo que concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio, en el cual se identificó la especie *Bacillus licheniformis* en el espécimen de ave analizado (Av-068). Lo anterior sugiere que las condiciones de almacenamiento y los factores ambientales juegan un papel determinante en la proliferación de microorganismos asociados al biodeterioro en colecciones zoológicas.

Aplicación y evaluación del efecto antimicrobiano de la luz UV-C 222 nm

Los hallazgos de este trabajo evidencian que la exposición a la luz UV-C 222 nm genera una reducción significativa en la concentración de microorganismos, con un efecto pronunciado a medida que aumenta el tiempo de exposición. Se observa que se alcanza un umbral de eficacia (Figura 3), donde prolongar la exposición no produce un aumento significativo en la inhibición, por lo que se recomienda limitar el tiempo de tratamiento para minimizar posibles riesgos asociados a exposiciones prolongadas [25].

No obstante, la bacteria aislada del espécimen de mamífero (M-077) presentó un comportamiento distinto al no alcanzar un umbral de estabilización como lo observado en las demás bacterias. Incluso después de 35 minutos de exposición, solo logró una inhibición del 96 %. Esto sugiere que la bacteria aislada del mamífero requiere un tiempo de exposición más prolongado para alcanzar niveles de inhibición comparables y podría estar mostrando cierta resistencia al tratamiento con luz UV-C 222 nm.

La resistencia de la bacteria mencionada frente a la luz UV-C pudo deberse a varios factores. Entre ellos se encuentra la producción de endosporas en especies como *Bacillus tequilensis* y

Bacillus siamensis las cuales pueden resistir la luz UV-C debido a su estructura robusta, la cual está compuesta por un exosporio el cual proporciona una capa adicional de protección [26]. De igual manera, se ha demostrado que diferentes especies de *Bacillus* en estado de endosporas al ser expuestas a luz UV, forman un fotoproducto (SP), el cual puede ser reparado durante la germinación de la endospora por un sistema de reparación específico llamado SP-liasa, lo cual aumenta la resistencia al daño de la radiación UV [27]. La bacteria aislada del ejemplar M-077 presenta una morfología microscópica particular de bacilos cortos (Figura 1a). En las tinciones se evidenciaron estructuras compatibles con endosporas, lo que podría contribuir a explicar su menor inhibición frente a la radiación UV-C, dada la reconocida resistencia de estas estructuras. No obstante, esta interpretación debe plantearse con cautela, ya que la tolerancia a la radiación UV en bacterias puede depender de múltiples factores adicionales. Entre ellos se incluyen procesos de fotoreactivación y mecanismos de reparación del ADN inducidos por la luz, ampliamente descritos como rutas alternativas de supervivencia frente a la radiación UV en diversos grupos bacterianos.

Los bacilos son bacterias que normalmente tienen forma de bastón, sin embargo, en su estado de endospora pueden adoptar una apariencia más corta debido a la condensación de sus estructuras internas. Esta forma compacta contribuye a la resistencia, ya que reduce la superficie expuesta a condiciones adversas (luz UV), mejorando así su capacidad para soportarlas y generar la resistencia observada en numerales anteriores [27].

Los porcentajes altos de inhibición a partir de los 15 minutos en la mayoría de las bacterias tratadas sugiere que el tratamiento genera reducción de la carga microbiana. En este sentido, se ha reportado que el uso de dosis acumulativas de luz UV-C 222 nm, con irradiancias ajustadas según los tiempos de exposición, logra una inhibición del 90 % en *Bacillus subtilis* cuando se utiliza una irradiancia de 4,0 mW/cm² [28]. Además, otros trabajos han demostrado que alcanza un 99 % de inhibición tras 20 minutos de exposición a la luz UV-C 222 nm [25]. Estos resultados son coherentes con lo observado en el presente estudio, donde se registraron porcentajes de inhibición del 99 % a partir de los 15 minutos de exposición, lo que confirma la capacidad de la luz UV-C 222 nm para reducir la carga microbiana de manera efectiva en tiempos cortos.

Conclusión

El análisis de los microorganismos presentes en los especímenes de la colección zoológica permitió identificar bacterias Gram positivas con morfología de bacilos, pertenecientes al género *Bacillus*.

La exposición a la luz UV-C 222 nm evidenció un efecto bactericida significativo. En la evaluación, se observó una reducción de la concentración bacteriana desde los primeros 5 minutos, con porcentajes de inhibición cercanos al 90 %. A partir de los 15 minutos, la inhibición se estabilizó en valores alrededor del 99 %, sin incrementos adicionales relevantes, lo que sugiere que tiempos de exposición superiores no son necesarios y podrían implicar riesgos.

Estos resultados destacan el potencial de la luz UV-C 222 nm como herramienta alternativa para la mitigación del riesgo biológico en colecciones zoológicas conservadas en líquido. No obstante, se recomiendan futuros estudios orientados a evaluar el efecto de la radiación UV-C de 222 nm sobre hongos, tejidos de ejemplares y la recolonización microbiana a largo plazo. Aunque se ha demostrado que esta longitud de onda es segura para la piel de los mamíferos, persiste la incertidumbre sobre sus efectos prolongados en los tejidos biológicos y en los materiales de los contenedores conservados con etanol.

Finalmente, este trabajo abre la posibilidad de desarrollar nuevos protocolos de preservación que incorporen la luz UV-C 222 nm como tratamiento complementario y/o preventivo para el control microbiano, contribuyendo a la preservación a largo plazo de las colecciones zoológicas y a la reducción del riesgo de biodeterioro.

Agradecimientos

Agradezco profundamente a la profesora María Camila Patiño por haber propuesto la idea de este estudio, así como por su valiosa guía, acompañamiento constante y apoyo durante todo el proceso investigativo. A la Universidad Militar Nueva Granada, por el apoyo financiero y la disponibilidad de sus instalaciones y a la profesora Nelsy Rocío Pinto Sánchez, por su constante disposición y acompañamiento.

REFERENCIAS

- Trujillo, E.; Triviño, P.; Salazar, L., 'Clasificación, manejo y conservación de colecciones biológicas: una mirada a su importancia para la biodiversidad', *Momentos de Ciencia* **11**(2) (2014) 97-106, https://www.researchgate.net/publication/305682393_Clasificacion_manejo_y_conservacion_de_colecciones_biologicas_una_mirada_a_su_importancia_para_la_biodiversidad (acceso 2024-04-15).
- Arbeláez-Cortés, E.; Acosta-Galvis, A.; Donascimento, C.; González Alvarado, A.; Medina, C., 'Knowledge linked to museum specimen vouchers: measuring scientific production from a major biological collection in Colombia', *Scientometrics* **112**(3) (2017) 1323-1341, <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2461-4>.
- Carrillo Chavez, L. M.; Arias Bermúdez, N.; Nieto Vanegas, M. J.; Pinto Sanchez, N. R.; Patiño, M. C., 'Study of biodeterioration and evaluation of proteolytic activity caused by microorganisms in specimens of a zoological collection in Colombia', *Conservar Patrimonio* **45** (2023) 7-20, <https://doi.org/10.14568/cp24895>.
- Arenas-Castro, H.; Muñoz-Gomez, S. A.; Uribe-Acosta, M.; Castaño-Castaño, L.; Lizarazo-Medina, P., 'Richness, cellulolytic activity, and fungicide susceptibility of fungi from a bird biological collection', *Acta Biológica Colombiana* **21**(1) (2016) 168-173, <https://doi.org/10.15446/abc.v21n1.49240>.
- Cappitelli, F.; Cattò, C.; Villa, F., 'The control of cultural heritage microbial deterioration', *Microorganisms* **8**(10) (2020) 2-20, <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101542>.
- Faheem, F., '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) (2019) 554-571, [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.jbino.com/docs/Issue05_02_2019.pdf](https://www.jbino.com/docs/Issue05_02_2019.pdf) (acceso 2026-01-12).
- Buonanno, M.; Ponnaiya, B.; Welch, D.; Stanislauskas, M.; Randers-Pehrson, G.; Sminelov, L.; Lowy, F.; Owens, D.; Brenner, D., 'Germicidal efficacy and mammalian skin safety of 222-nm UV light', *Radiation Research* **187**(4) (2017) 483-491, <https://doi.org/10.1667/RR0010CC.1>.
- 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., 'Different biological effects of exposure to far-UVC (222 nm) and near-UVC (254 nm) irradiation', *Journal of Photochemistry and Photobiology* **243** (2023) 112-713, <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2023.112713>.
- Pinto, N.; Gonzalez, M. A., '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', *Ge-conservación* **28** (2025) 121-131, <https://revista.ge-iic.com/index.php/revista/article/view/1404/1219>.
- Simmons, J. E.; Muñoz-Saba, Y., *Cuidado, manejo y conservación de las colecciones biológicas*, Universidad Nacional de Colombia: Conservación Internacional, Bogotá (2005) 17-75, https://www.researchgate.net/publication/266249611_Cuidado_Manejo_y_Conservacion_de_las_Colecciones_Biologicas.
- Muñoz, G.; Moreno, G.; Verri, M., 'Estandarización de un protocolo de caracterización molecular para la identificación de especie de cepas terrestres de bacterias del género *Brucella*', *Revista Sapuvet de Salud Pública* **2**(2) (2011) 39-57, <https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/us/article/view/5086>.
- Alharbi, M.; Bakitjan, F.; Alenzi, A., 'Evaluation of bactericidal effects of ultraviolet light C irradiation on cariogenic bacteria: An in vitro study', *BMC Oral Health* **21**(1) (2021) 406, <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01767-x>.
- Konrat, K.; Schwebke, I.; Laue, M.; Dittmann, C.; Levin, K.; et al., 'The bead assay for biofilms: a quick, easy and robust method for testing disinfectants', *PLOS ONE* **11**(6) (2016) e0157663, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157663>.
- Narita, K.; Asano, K.; Naito, K.; Ohashi, H.; Sasaki, M.; Morimoto, Y.; Igarahi, T.; Nakane, A., 'Ultraviolet C light with wavelength of 222 nm inactivates a wide spectrum of microbial pathogens', *Journal of Hospital Infection* **105**(3) (2020) 459-467, <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.03.030>.
- 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., 'The bactericidal effect of far-UVC on ESBP-producing *Escherichia coli*', *American Journal of Infection Control* **50**(11) (2022) 1268-1270, <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2022.04.012>.
- Alharbi, M.; Bakitjan, F.; Alenzi, A., 'Evaluation of bactericidal effects of ultraviolet light C irradiation on cariogenic bacteria: an in vitro study', *BMC Oral Health* **21** (2021) 406, <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01767-x>.
- Sawyer, S. F., 'Analysis of variance: the fundamental concepts', *Journal of Manual & Manipulative Therapy* **17**(2) (2009) 27e-38e, <https://doi.org/10.1179/jmt.2009.17.2.27E>.
- Sequeira, S. O.; Phillips, A. J. L.; Cabrita, E. J.; Macedo, M. F., 'Ethanol as an antifungal treatment for paper: short-term and long-term effects', *Studies in Conservation* **62**(1) (2016) 33-42, <https://doi.org/10.1080/00393630.2015.1137428>.

19. Negi, A.; Sarethy, I. P., 'Microbial biodeterioration of cultural heritage: events, colonization, and analyses', *Microbial Ecology* **78**(4) (2019) 1014-1029, <https://doi.org/10.1007/s00248-019-01366-y>.
20. Borrego, S.; Guiamet, P.; Gómez de Saravia, S.; Batistini, P.; Garcia, M.; Lavin, P.; Perdomo, I., 'The quality of air at archives and the biodeterioration of photographs', *International Biodeterioration & Biodegradation* **64**(2) (2010) 139-145, <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2009.12.005>.
21. Ienes-Lima, J.; Prichula, J.; Abadie, M., 'First report of culturable skin bacteria in *Melanophryniscus admirabilis* (Admirable Redbelly Toad)', *Microbial Ecology* **86** (2023) 756-761, <https://doi.org/10.1007/s00248-022-02069-7>.
22. Latorre, J. D.; Hernandez-Velasco, X.; Wolfenden, R. E.; Vicente, J. L.; Wolfenden, A. D.; Menconi, A.; Bielke, L.; Hargis, B. M.; Téllez, G., '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* **(3)** (2016) 95, <https://doi.org/10.3389/fvets.2016.00095>.
23. Dománski, J.; Janczura, A.; Wanat, M.; Wiglusz, K.; Grajzer, M.; Simmons, J. E.; Domagała, Z.; Szepietowski, J. C., '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* **243**(1) (2023) 148-166, <https://doi.org/10.1111/joa.13854>.
24. Niesler, A.; Górny, R. L.; Wlazło, A.; Łudzeń-Izbińska, B.; Ławniczek-Wałczyk, A.; Gołofit-Szymczak, M.; Anczyk, E., 'Microbial contamination of storerooms at the Auschwitz-Birkenau Museum', *Aerobiologia* **26** (2010) 125-133, <https://doi.org/10.1007/s10453-009-9149-z>.
25. Górny, R. L.; Gołofit-Szymczak, M.; Palak, A.; Ławniczek-Wałczyk, A.; Cyprowski, M.; Stobnicka, A.; Płocińska, M.; Kowalska, J., 'Effectiveness of UV-C radiation in inactivation of microorganisms on materials with different surface structures', *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* **31**(2) (2024) 287-293, <https://doi.org/10.26444/aaem/189695>.
26. Bang, I. H.; Kim, Y. E.; Lee, S. Y.; Min, S. C., 'Microbial decontamination of black peppercorns by simultaneous treatment with cold plasma and ultraviolet C', *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **63** (2020) 102392, <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102392>.
27. Setlow, P., 'Resistance of spores of *Bacillus* species to ultraviolet light', *Environmental and Molecular Mutagenesis* **38**(2-3) (2001) 97-104, <https://doi.org/10.1002/em.1058>.
28. Leal, A. C.; Tam, W.; Kheyrandish, A.; Mohseni, M.; Bach, H., 'Antimicrobial activity of filtered far-UVC light (222 nm) against different pathogens', *BioMed Research International* **2023**(1) (2023) 085140, <https://doi.org/10.1155/2023/2085140>.

RECIBIDO: 2025.7.18

REVISTO: 2025.11.29

ACEPTADO: 2025.12.27

ONLINE: 2026.9.29



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons

AtribuciónNoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Para ver una copia de esta licencia, visite

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Balancing artist's intent and durability: conserving a corroded outdoor painted iron sculpture

Equilibrando a intenção do artista e a durabilidade: conservação de uma escultura exterior de ferro pintado corroída

MARIA GIANNOULAKI * 
MARIA PETROU 

University of West Attica, Dept. of
Conservation of Antiquities &
Works of Art, Ag. Spyridonos,
Aigaleo, 12 210, Greece

*mgiann@uniwa.gr

Abstract

Conserving outdoor painted sculptures (OPSs) is challenging due to their constant exposure to uncontrolled environments. This paper outlines the methodology employed to conserve the *Tree*, a large-scale monochrome iron sculpture by George Lappas which has been situated in a coastal environment for decades. The artwork had suffered extensive metal corrosion and paint deterioration. Following an ethical evaluation of the artist's intentions versus the need for long-term stability, it was deemed necessary to repaint the sculpture completely. A comprehensive diagnostic approach was taken, including XRF, XRD, SEM-EDX, colourimetry and gloss measurement, as well as investigative cleaning. The study addresses the challenges of removing multiple paint layers and addressing various corrosion issues. The final conservation treatment involved using epoxy resin to fill in losses and a durable polyurethane paint system. Combining traditional and modern techniques restored the sculpture's original aesthetic qualities, while maximising its resistance to aggressive environmental conditions.

Resumo

A conservação de esculturas exteriores pintadas é um desafio devido à constante exposição a ambientes não controlados. Este artigo descreve a metodologia empregue para conservar uma escultura monocromática em ferro, *Tree*, de George Lappas, que se encontrava num ambiente costeiro há décadas. A obra apresentava corrosão metálica extensa e deterioração da pintura. Após uma avaliação ética das intenções do artista relativamente à necessidade de uma estabilidade duradoura, considerou-se necessário repintar completamente a escultura. Adotou-se um diagnóstico abrangente, incluindo XRF, XRD, SEM-EDX, colorimetria e medição de brilho, bem como limpeza investigativa. O estudo aborda os desafios para remover várias camadas de tinta e solucionar os problemas de corrosão. O tratamento de conservação envolveu o uso de resina epóxi para preencher as lacunas e sistema de tinta de poliuretano durável. A combinação de técnicas tradicionais e modernas restaurou as qualidades estéticas originais da escultura, e maximizou a sua resistência a condições ambientais agressivas.

KEYWORDS

Outdoor sculpture
conservation
Painted metal
Repainting
Polyurethane paint system
Artist's intent
Minimal intervention

PALAVRAS-CHAVE

Conservação de esculturas
ao ar livre
Metal pintado
Repintura
Corrosão
Sistema de tinta de
poliuretano
Intenção do artista
Intervenção mínima

Introduction

Although traditional outdoor sculptures in bronze and stone were created in collaboration with foundries and quarries, the demand for large-scale outdoor sculptures from the 1970s onwards led to the production of artworks requiring the skills, materials, and techniques used in industrial production [1]. These artworks consist of a substrate, which is mainly made of carbon steel, stainless steel, aluminium, resin, fibreglass, bronze, concrete and wood, as well as surface coatings, which are mainly industrially manufactured layers (primer and pigmented or non-pigmented coatings) applied by brushing, rolling or spraying [2].

The long-term preservation of painted outdoor sculptures presents a significant challenge due to their continual exposure to uncontrolled and sometimes harsh environmental conditions. These include UV radiation, rain, wind, pollutants, human interaction and biological debris from plants and animals [1, 3-4]. These factors contribute to the degradation of both the coating and the metal substrate. Although coatings are often selected for aesthetic properties such as colour, gloss, and texture, they are inherently susceptible to outdoor weathering. The durability of such coatings depends on various factors, including the properties of the materials used (such as corrosion resistance, weathering resistance, chemical and mechanical resistance, UV stability and adhesion), the application method, the coating's thickness and the quality of the surface preparation [5-6]. Over time, degradation at the coating-substrate interface can lead to discolouration, peeling and corrosion, ultimately compromising the sculptures' visual integrity and structural stability [1, 5]. A common approach to maintaining the appearance of outdoor sculptures is to regularly strip and repaint them rather than trying to preserve the original materials [1]. A major challenge in conservation is the absence of regular, proper maintenance and the prevalence of unprofessional interventions, such as repainting by non-conservators using incompatible commercial products without proper surface preparation. These practices often result in layered, incompatible coatings that are prone to failure, accelerating corrosion and deterioration [3].

The conservation of modern art is further complicated by ethical considerations, including the maintenance of the artist's intent, symbolic meaning and original appearance, all of which are directly related to the artwork's true nature [7]. When coatings deteriorate to the point where these qualities can no longer be conveyed, full repainting may be necessary [8]. While the complete removal of original materials conflicts with traditional conservation ethics, recent studies – including projects by the Getty and Dutch museums – have confirmed the necessity of repainting outdoor sculptures to preserve their intended visual characteristics [1, 7, 9]. The American Institute for Conservation acknowledges that achieving the artist's aesthetic vision may necessitate the sacrifice of original materials, while preserving key elements of manufacture and technique [10, p. 163].

Related research has suggested that a durable finish with the correct gloss and colour offers significant benefits, given that protective coatings act as chemical and physical barriers. When selecting a coating, it is important to consider factors such as material transparency, reversibility, ease of application, environmental friendliness and the interaction between the substrate and the coating, as well as weathering and outdoor exposure [11]. The paint system should combine all these characteristics to ensure longevity and extend the time between repainting [1]. A typical system for outdoor steel or aluminium sculptures includes a zinc-rich primer for corrosion protection, followed by an intermediate primer for surface smoothing and a topcoat. The zinc primer acts as a sacrificial layer, protecting the metal in the event of paint failure and removal [12-13]. The topcoat is usually applied in one or two coats. Research on polyurethane topcoats suggests that they strike a balance between aesthetic and performance expectations in heritage conservation, particularly for painted outdoor sculptures [14]. A final clear coat can provide additional protection for the paint system [1, 12].

George Lappas and his monochrome *Tree* sculpture

George Lappas (1950-2016) was a Greek sculptor whose work incorporated geography and cartography, frequently transforming landscapes into symbolic world maps. Born in Cairo, he studied in Athens and the US before completing his sculpture studies in Paris. He lived and worked in France, England and Greece, teaching at the Athens School of Fine Arts (ASFA) for nearly three decades and introducing innovative pedagogical approaches.

Lappas' extensive travels to countries including China, Russia and Brazil had a profound impact on his artistic practice. Research and personal communication with the sculptor Aphrodite Liti suggest that the sculpture presented in this study is closely related to *Mappemonde*, created in 1987 and presented at the Venice Biennale the following year [14]. The *Tree* is a sculpture composed of iron alloy plates-matrixes arranged in the shape of a tree and containing abstract global symbols. Like *Mappemonde*, the *Tree* reflects Lappas' interest in coded forms, emerging from his thorough research into Mayan hieroglyphs and codes, as well as narrative mapping. While this work is grounded in Lappas's personal experience, it also resonates on a universal scale [15-16].

The artwork presented here is made from pressed iron plates that have been cut into square and round shapes. These are then assembled into the sculpture and joined by autogenous welding or metallurgical joints that match the alloy. Rectangular slats (1.2 × 1.4 cm) and metal strips form the frames at the back of the artwork, joining the plates into a tree shape. All joints are welded. Two vertical curved strips on each side support the structure, forming the tree trunk and connecting it to the double base. The base consists of two curved parts joined by thick hexagonal bolts. The sculpture is painted green to resemble a tree.

The plates were hand-worked with small cut-outs in the form of human figures, animals and ancient hieroglyphics, created with a propane/acetylene torch to leave blank impressions. The artist performed all processes, leaving a personal, lasting mark. The artwork combines traditional craftsmanship with a modern touch thanks to its monochrome finish.

Context and exposition environment

The *Tree* is part of a private collection and its manufacture was commissioned to Lappas in the beginning of the 1990's. It is permanently exposed in the garden of a residence (Figure 1) with close proximity to the sea in a coastal town in the Argolis region of the Peloponnese, Greece. The exposition environment is characterized as non-urban and coastal with transposition and deposition of salts (chlorides and sulphates). By evaluating climate and weather data graphs from 1955 until 2025 [17], it can be determined that the local climate is humid, with wet autumns and winters and mild summers, and is characterised by intense sunlight. The marine environment, rich in air transferred corrosive salts, enhances electrochemical corrosion through surface moisture condensation and temperature fluctuations [18]. The exposure in direct sunlight during the day affects the paint layer.

The effects of the exposure environment were documented, including localised paint loss and extended paint detachment, as well as uniform and localised iron corrosion, accompanied by stress corrosion cracking.

The sculpture underwent occasional maintenance, including mild cleaning, minor repairs and partial or full repainting, over time. These maintenance procedures were carried out by non-conservators and no records exist.



Figure 1. The *Tree* sculpture in its permanent position (photo: private collection).

Aim of project

The aim of this project is to document and implement a comprehensive conservation intervention for George Lappas's painted metal sculpture, *Tree*, to address the degradation of the coating and substrate caused by prolonged exposure to the outdoor environment and inadequate maintenance. The primary goal is to restore the sculpture's original aesthetic qualities while preserving the artist's intent and the authenticity of the materials used. The study addresses the ethical and technical challenges involved in conserving modern art, emphasising a balanced approach between minimal intervention, material preservation, and visual integrity.

The conservation project began in October 2020 and ended in June 2021, carried out during the coronavirus pandemic in Greece.

Materials and methods

The conservation methodology involves a detailed examination of the sculpture's materials, techniques and decorative elements, as well as an evaluation of its current condition, with a particular focus on corrosion types and stratigraphy. This examination is integrated with an understanding of the environmental context to inform targeted interventions aimed at stabilising and preserving the artwork for long-term outdoor display.

Key questions include the following:

- What materials were used to create the sculpture (type of iron alloy, paint layer)?
- What was the original colour of the sculpture?
- What is the condition of the metal surface beneath the paint (stable or active)?
- What is the best method for preparing the metal surface for conservation?
- What are the optimal characteristics of the restoration paint layer to ensure durability and authenticity?

The integrated approach to achieving the project aim and developing a suitable conservation plan for the *Tree* sculpture involved:

1. A detailed visual inspection to assess the technological features and condition, revealing points and/or areas of interest on the metal and paint layers.
2. Sampling of paint, metal and corrosion products for analysis. Samples were taken from characteristic areas of the main body of the sculpture, where all the paint layers were preserved.
3. Application of analytical techniques:
 - X-ray fluorescence (XRF) spectroscopy for alloy identification;
 - X-ray diffraction (XRD) for characterization of corrosion products;
 - Scanning electron microscopy (SEM) with energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) for microstructural and compositional analysis;
 - Colorimetry-gloss measurements for paint layer differentiation and determination of original paint colour.
4. Investigative cleaning to study paint stratigraphy, assess the condition of the metal, and identify suitable cleaning methods.
5. Development and implementation of an appropriate conservation strategy.

The initial inspection was conducted in two phases: before and after paint removal. Light, magnifying lenses and a DSLR digital camera were used for photographic documentation.

Samples of paint layers, corrosion products and detached metal were taken using a scalpel. These samples were analysed at the Department of Conservation of Antiquities and Works of Art at the University of West Attica.

XRD and XRF analyses were performed on 10 mg powder samples using a BTX instrument InXitu Inc. (XRD/XRF), which functions as both an XRD and an XRF instrument.

SEM-EDX analysis was conducted using a JEOL 6510LV SEM-EDX to provide images and data on the metal and paint layers. Cross-sections of paint flakes embedded in epoxy resin were examined using a FEI Quanta 250 FEG scanning electron microscope. SEM-EDX imaging was performed at low vacuum (100-120 Pa) and at an accelerating voltage of 10-20 kV with a working distance of 10 mm. Paint cross-sections were imaged using a BSED detector.

An X-Rite SP60 portable tristimulus colorimeter was used to measure colour on the top and original artist's paint layer. For each sample, an average of three measurements taken from the same area was recorded to obtain the L^* , a^* , and b^* coordinates in the CIE LAB color space, in

the specular components included acquisition mode (SPIN Specular-Included). Gloss was measured in gloss units (GU) at 20 °, 60 ° and 75 ° using a Novo Gloss Lite meter.

To document the stratigraphy of the paint layers and determine the original colour of the sculpture, investigative cleaning sections were made at selected points on the base and body. This was achieved using a commercial ecological paint remover, 600 ECO Paint Remover gel, combined with the application of a hot air gun and a scalpel, or a scalpel alone.

Results and discussion

Visual inspection

Investigative inspection revealed significant issues with the metal substrate and paint layers. The following problems were highlighted after the paint was removed (Figure 2):

- electrochemical corrosion of iron occurred in areas where the paint layers exhibited cracking, delamination and loss of adhesion to the metal substrate, resulting in the formation of composite corrosion layers containing probably iron oxides and hydroxides, characterised by an increase in volume ('rust');
- active corrosion of iron (weeping iron) and the formation of chloride corrosion products ('spalling') in areas where the original paint layer has been lost and the repainting process has not involved proper preparation of the metal substrate by removing and/or stabilising corrosion products. Areas prone to electrochemical and active corrosion are those that retain moisture, such as hollow base sections, joints between metal plates and frame slats, the slats themselves and lateral buttresses where they connect to the base;
- loss of parts due to crevice corrosion caused by active corrosion and mechanical stress. Paint removal revealed missing decorative elements at the joints, as well as holes in the frame slats, where moisture had entered and caused deep craters and material loss.

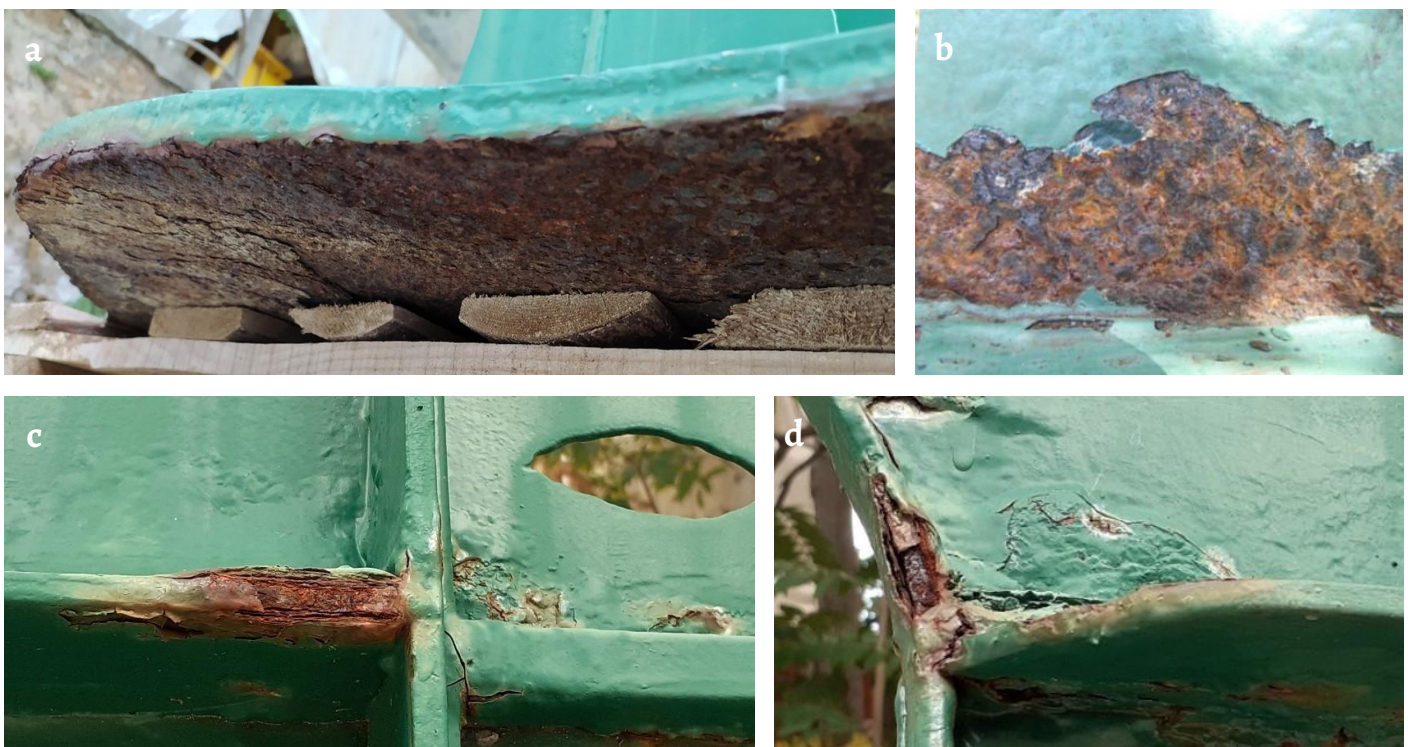


Figure 2. Corrosion types: *a-b*) uniform corrosion with formation of black and brown/orange corrosion products and stress mechanical cracking; *c-d*) bulk corrosion products in areas characterized by spalling and detachment of material.

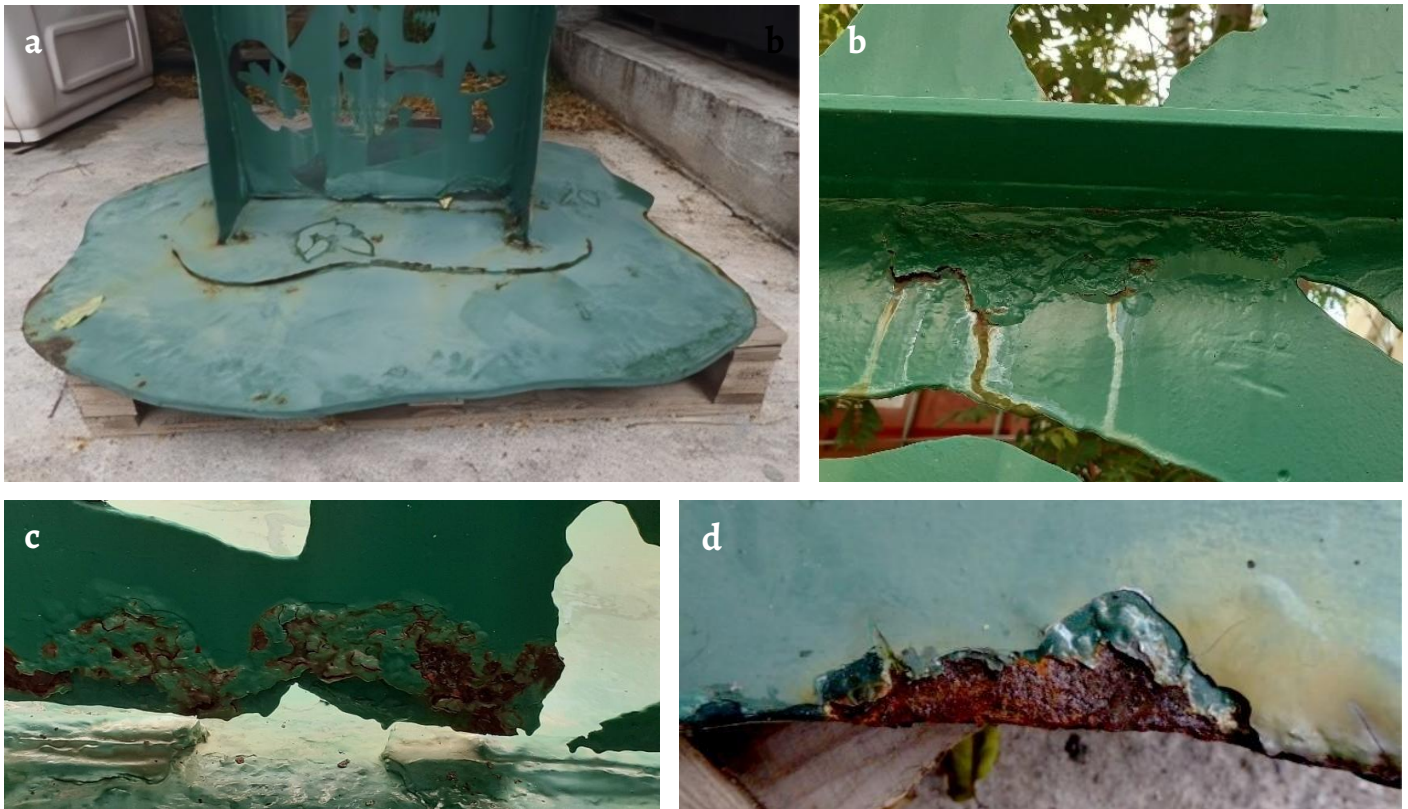


Figure 3. Paint layer degradation: *a)* discolouration and material heterogeneity; *b)* paint detachment; *c)* exfoliation, cracks and blistering; *d)* area with repainting.

Prolonged environmental exposure has significantly deteriorated the paint layer, impacting the appearance of the artwork and the artist's original intent. The following has been documented (Figure 3):

- severe discolouration, blisters, cracks and extensive flaking, particularly where corrosion beneath had expanded;
- paint thickness is locally reduced due to uncontrolled substrate corrosion;
- repaint layers show poor interlayer adhesion, leading to localised delamination;
- material heterogeneity, weak adhesion and surface damage compromise the artwork's appearance and accelerate its degradation by allowing oxygen and moisture to reach the metal, perpetuating a cycle of decay.

Investigative cleaning sections

Cleaning revealed that the sculpture had been repainted several times, often without full paint removal or proper substrate preparation. Local retouching showed signs of wear and tear, and in some cases, evidence of painting over corrosion. Removing the overpaints exposed four to five paint layers with varying green hues, likely due to ageing or inconsistent colour matching. The original artist-selected colour was found to be the initial layer over the metal surface (Figure 4).



Figure 4. Investigative cleaning section revealing 3 layers of green paint and a white primer.

Diagnostic analysis

XRD results

Observation and processing of the spectra documented the presence of iron oxide-hydroxides (magnetite, goethite and lepidocrocite). The spectra present a lot of background 'noise' and regions of many small peaks due to the amorphous and semi-crystalline nature of the hydrated iron products. Although characteristic peaks of magnetite and lepidocrocite (Figure 5a) and goethite and magnetite (Figure 5b) can be identified.

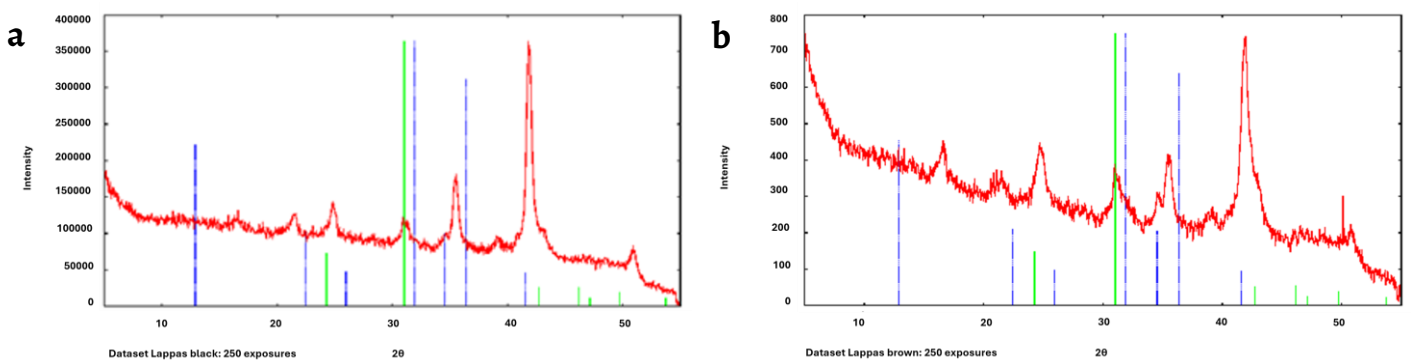


Figure 5. XRD results: *a*) characteristic peaks of magnetite (35,5°) and lepidocrocite (~14° and 23°); *b*) characteristic peaks of goethite (~21.5° and 36°) and magnetite (35,5°).

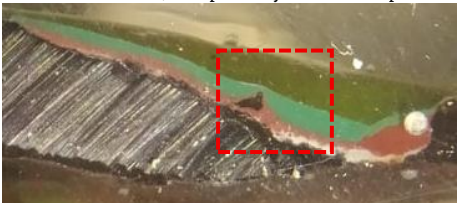
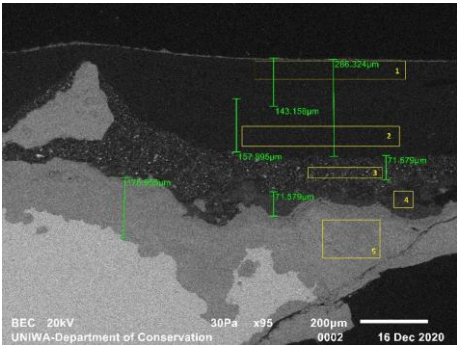
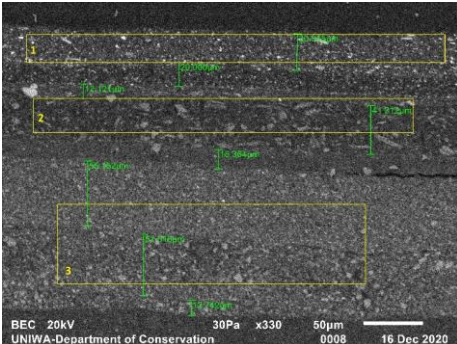
XRF results

XRF spectra identified Fe as the primary alloy element, with Mn and Ni as secondary elements, indicating an alloy steel. Results are based on corrosion layer samples, providing initial evidence of the alloy used in the metal plates.

SEM-EDX results

SEM results (Table 1) confirmed the use of a low carbon steel alloy with secondary trace elements Si and Mn. The presence of Ca can be attributed to the primer layer used to protect the metal substrate present in Layer 4 in Table 1. Cross-section analysis showed three organic paint layers with green earth pigments. The original layer contains calcium-based green earth, while the two repaint layers use silicon-based fillers, each with distinct hues. Two organic layers of preparation were identified – a white primer (possibly Ti based according to the results of Layer 4) on the metal and a red layer above (possible containing a red iron oxide and barium sulphate as a filler according to the results of Layer 3). The presence of Cl is documented in all layers of samples examined, and the metal substrate. It is probably attributed to the proximity of the sculpture to the sea environment.

Table 1. SEM-EDX results of sample 1 (metal substrate, two paint layers and two primers) and sample 2 (three paint layers). Chemical elements are qualitatively categorised as maximum, minimum or (trace). Categories are based on normalised weight percentages calculated by the microscope's X-ray microanalysis software. Where maxima are > 10 %, minima are < 10 % and traces are < 1 %.

Samples	Layer characterization	Elemental analysis
1 - metal substrate, two paint layers and two primers		
	1 - Outer green paint layer 2 - Inner green paint layer 3 - Red primer 4 - Off-white / grey primer 5 - Metal substrate	O, C, Si, Fe, (Ti, Cl, Al, P, Mg) O, C, Fe, Si, (Ti, Cl, Al, Ca, P, Mg, K) O, C, Fe, Si, Ba, (Cr, Zn, S, Cl, K, Ca, Ti, Al) O, C, Ti, Si, Fe, Ca, Mg, (Al, Cl, Na, K) Fe, O, (Ca, Cl, Si, Mn)
		
2 - three paint layers		
	1 - First layer of green paint (possibly the artist's paint) 2 - Second layer of green paint 3 - Third layer of green paint (the top layer before conservation procedure)	O, C, Ba (S, Fe, Ca, Zn, Cl, Si, P, Cr, Al, Mg, K) O, C, Si, Mg, Ca, (Cl, Fe, Al, Ti, Na, K) O, C, Ca, Si, (Cl, Mg, Al, Fe, Na, K, Ti)
		

Colorimetry - gloss measurement results

Both instruments helped identify and systematize differences between repaint layers and the original paint (Table 2). Colour measurements revealed hue variations from previous restorations, aiding in the selection of the optimal shade. Gloss meter results were used solely for documentation, as outdoor exposure had degraded the gloss, rendering it unusable for analysis. Evaluating the results helped to select the colour with which to restore and complete the sculpture's original aesthetic. The industrial painting system selected, uses RAL colour chart, which made it impossible to use the exact artists selection shade found through colorimetry. Nevertheless, the colour ultimately chosen was extremely close and it was RAL 6009, a deep green shade.

Table 2. Colorimetry and gloss measurements of the paint layers.

Paint layer	Colorimetry	Gloss measurement	Colour
Final layer preserved on the surface before 2020 conservation treatment, exposed to outdoor conditions for a long period of time	L* 39.26 a* -12.80 b* +4.54	20 ° 0.7 60 ° 7.4 75 ° 27.0	
Original artist's layer recovered from investigative cleaning, exposed to outdoor conditions for a long period of time before previous repainting treatment.	L* 30.77 a* -5.31 b* +2.82	20 ° 2.4 60 ° 18.2 75 ° 40.0	
Selection of surface colour treatment RAL 6009	L* 20.78 a* -8.55 b* +5.21		

Conservation methodology

Visual inspection, diagnostic analysis and investigative cleaning were necessary to design an effective conservation methodology. Full repainting was necessary, with initial efforts focused on testing various paint removal methods to determine the most effective treatment.



Figure 6. Mechanical cleaning of paint layers: a) cleaning result of paint layers with commercial paint remover and a hot air gun; b) cleaning with an industrial air blast system; c) view of a cleaned area with the sandblasting system, revealing the blackening of the surface due to the process of metal cutting for creating the symbols. The details of the cutting of the symbols are better observed.

Cleaning tests were conducted using a combination of mechanical cleaning with hand tools, such as a scalpel, and a Dremel rotary tool fitted with various brushes and abrasives. The commercial ecological paint remover 600 ECO Paint Remover Gel was also tested. A hot air gun was also used to gradually strip the paint layers down to the metal substrate (Figure 6a).

Finally, an industrial air blast system using quartz sand (0.1-0.5 mm) was employed at a controlled operating pressure (Figure 6b). The paint and corrosion layers were completely removed, including from the underside of the base (Figure 6c).

An epoxy protection system suitable for the marine environment was used. This included a primer (Hempel's zinc metal pigment 97170) that offers cathodic protection followed by a second layer of primer (Hempel's speed dry ZP 500 17500) as a base/preparation coat for the polyurethane paint. Both were applied by spray for optimal penetration (Figure 7a).

Sandblasting revealed three issues that required restoration (Figure 7b):

- openings in the back and slats allowed moisture to enter, causing internal oxidation;
- removal of the corrosion layers left behind hollow recesses and irregularities;
- extensive oxidation resulted in large gaps and material loss.

Gap filling was used to address the material loss (Figure 7c). Milliput Standard 490 (yellow-grey) an epoxy putty was used for larger losses of material, and Milliput Standard Superfine (white) for fine finishes. They were both applied to the primed metal surface. In category 1, the holes were completely filled with epoxy resin. For category 2, small, localised additions were made to smooth the surface without overfilling, adhering to minimal conservation principles. Category (3) involved making major additions to cover gaps and restore the form only to the extent necessary to maintain the sculpture's aesthetic integrity.



Figure 7. Preparation of metal substrate: a) the *Tree* after the application of two layers of zinc-based primer; b) hollow recesses and irregularities; c) gap filling process.



Figure 8. Repainting with a polyurethane system: a) the *Tree* after the application of the polyurethane paint system; b) detail of the area of the base; c) detail of a plate.

The colour paint was sourced from an industry survey of manufacturers producing paint systems for heavy industrial applications. The company used was Technochrom and the selection was made after consulting the chemical engineering department and providing images of the sculpture and information on the exposure environment. Such communication was essential since the decision was made to add an opacifier to reduce the satin gloss of the paint and achieve better aesthetic results given that the sculpture is exposed to sunlight. According to these, the selected polyurethane paint system was Technodur (RAL 6009), a two-component, aliphatic, polyester-based, chemical reaction polyurethane paint, suitable for the marine environment (Figure 8). The paint was applied in two layers using a soft-bristle brush and roller; the second layer was applied after 48 hours. The paint dried within 24 hours and reached full hardness and mechanical strength after seven days at 20 °C.

Conclusions

The survey methodology used for the case study of G. Lappas's monochrome *Tree* resulted in the identification of technological aspects, such as construction materials and techniques and the original colour layer, and highlighted issues related to conservation treatments in such cases.

The pressed iron plates are made from a steel alloy (probably low-carbon) containing Mn, Ni and Si as secondary trace elements, combining XRF and SEM results. This is a widely used steel alloy for construction applications, where manganese is added primarily to control sulfur, enhancing workability and preventing hot shortness during hot working. It also contributes to increased strength and toughness [19]. XRF identified manganese (Mn) and nickel (Ni) as trace elements, and the sample was dust from iron corrosion products. SEM-EDX identified manganese (Mn) and silicon (Si) as trace elements, and the sample was a detached piece of paint where flakes of corroded metal were attached. The difference lies in the samples and instruments used: a BTX instrument from InXitu Inc. (XRD/XRF), which focuses mainly on XRD data, requires the combination of XRF results from the powder analysis of the corrosion products and SEM-EDX of Layer 5 from the paint coating layers sample for the identification of the metal substrate.

This technological information is important for future conservation needs regarding the restoration of the lower plates, which have suffered severe material loss. It was decided not to replace the lower plates with new material during this intervention, but considering the corrosive exposure environment, this could be deemed necessary in the future.

Examining paint samples and investigating cleaning sections using colorimetry helped identify the number of repainting interventions and select a suitable RAL paint colour that corresponds to the closest RAL equivalent to the original colour and attempts to represent the artist's intent.

The XRD and SEM results revealed the impact of the coastal environment on the metal substrate, identifying iron oxides, oxides-hydroxides and chloride corrosion products.

Evaluating the different stages of the intervention process revealed interesting findings and provided valuable insights for similar applications.

The paint remover gel was rather effective at removing paint from metal. However, its action was limited to the top layer of paint when overlapping layers were present, despite mechanical scraping, necessitating multiple applications. Although successive paint layers were stripped down to the metal surface using mechanical cleaning with hand tools, removal was inconsistent, leaving degraded primer and poorly cleaned areas in hard-to-reach places such as joints, corners and recesses. The propane/butane torch effectively removed paint, exposing clean metal or the artist's primer in specific areas. However, cleaning hard-to-reach areas and removing corrosion remained problematic. Sandblasting provided total removal of paint and corrosion from all surfaces, ensuring uniform results. It also revealed details of corrosion and manufacturing techniques that had previously been obscured, including marks from metal cutting and the artist's hand-drawn symbols.

Sandblasting provides access to, and achieves good cleaning results in areas that are difficult to reach with power tools. Examples include joints, soldered connections and welds. It also ensures uniform results thanks to the ability to set a constant pressure rate.

The selected epoxy putty (Milliput) is renowned for its durability, temperature resistance and ease of use. It can be easily applied and formed with wooden moulding tools and sanded with fine abrasive papers [20-21].

The new paint system, which matches closely to the original colour, successfully restores the sculpture's communication with the viewer as intended by the artist. The durable finish is expected to be highly resistant to the marine environment, water, impact, friction and sunlight, as suggested by related research [14].

Finally, about the conservation process, it should be noted that the project schedule was impacted by the Coronavirus, as special attendance permits were required. Such issues should be considered, as the primer layer must be applied immediately after cleaning with air blasting. Due to accessibility restrictions imposed by the lockdown during the Coronavirus pandemic, the conservation work was not completed until June 2021. An assessment of the treatment stages, as well as the requirements of the methods and materials used, revealed that the conservation work took approximately 41 days (Figure 9).

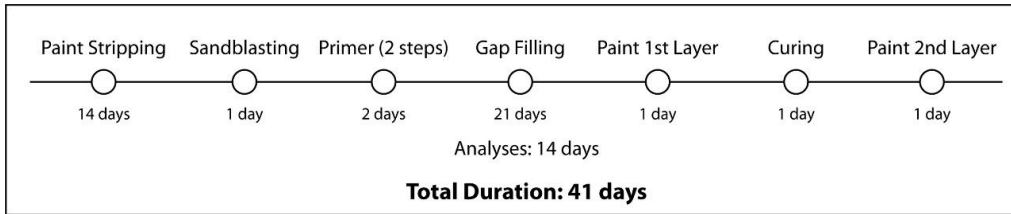


Figure 9. Schematic presentation of the actual time required for the conservation of the sculpture.

Conservation of modern and contemporary art has evolved into an independent field with its own strategies, theories and ethics. This challenges traditional concepts such as retouching, reconstruction and reversibility [22-24]. Some artworks, such as George Lappas's *Tree*, blur the line between modernity and tradition, thereby complicating conservation decisions. Ethical dilemmas have arisen, such as how much infill is required and whether corroded metal plates should be replaced. The chosen approach aimed to preserve the sculpture's originality, including Lappas's handmade metalwork, while restoring its intended aesthetic. Only gaps that were particularly distracting were filled, as replacing the oxidised metal would have compromised the sculpture's authenticity.

The sculpture was stripped and repainted to remove the tarnishing caused by the handcrafting process, and the technological aspect of metalworking was emphasised through sandblasting. Regular maintenance is essential for future conservation to counter environmental degradation. Depending on weather conditions, the new paint system should last 10-20 years, with periodic inspections preventing the need for major interventions.

This project shows that effective conservation strategies for modern sculptures need a thorough approach that balances an understanding of the artist's materials, techniques and intentions with an awareness of the sculpture's condition and its exposure environment, while respecting artistic integrity and aesthetic values.

Acknowledgments

The authors express their sincere gratitude to the private collector trusting them for the conservation of this remarkable artwork.

REFERENCES

1. Lowinger, R.; Mack, A.; Moody, E.; Perugini, F.; Rivenc, R.; Golfomitsou, S., 'Making it last: training conservators in sustainable solutions for treating outdoor painted sculpture', *Studies in Conservation* **69**(sup1) (2024) 208-217, <https://doi.org/10.1080/00393630.2024.2336794>.
2. Beerkens, L.; Learner, T., *Conserving outdoor painted sculpture, Proceedings from the interim meeting of the modern materials and contemporary art working group of ICOM-CC Kröller-Möller Museum*, eds. L. Beerkens & T. Learner, Otterlo, The Netherlands (2013).
3. Learner T.; Rivenc, R., 'Conserving outdoor painted sculpture: outcomes from a focus meeting', in *Conserving outdoor painted sculpture, Proceedings from the interim meeting of the modern materials and contemporary art working group of ICOM-CC Kröller-Möller Museum*, eds. L. Beerkens & T. Learner, Otterlo, The Netherlands, (2013) 13-22.
4. Learner T.; Rivenc, R., *The conservation of twentieth-century outdoor painted sculpture meeting report*, The Metropolitan Museum of Art, New York (2015).
5. Oh, S.-J.; Wi, K.-C., 'A basic research for preservation of works exhibited in the outdoor sculpture park - a scientific analysis of painted work "conversion" exhibited in the Cheonmasan sculpture park', *Journal of Conservation Science* **37**(4) (2021) 391-401, <https://doi.org/10.12654/jcs.2021.37.4.08>.
6. Molina, M. T.; Cano, E.; Ramírez-Barat, B., 'Protective coatings for metallic heritage conservation: a review', *Journal of Cultural Heritage* **62** (2023) 99-113, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.05.019>.
7. Pullen, D.; Heuman, J., 'Modern and contemporary outdoor sculpture conservation challenges and advances', *The Getty Conservation Institute Newsletter* **22**(2) (2007) 4-10.
8. Mack, A.; Sturman, S.; Escarsega, J. A., 'Adapting military camouflage paint for matte outdoor sculpture', in *Modern paints uncovered: proceedings from the modern paints uncovered symposium*, eds. T.J.S. Learner, P. Smithen, J. W. Krueger & M. R. Schilling, Getty Conservation Institute, Los Angeles (2007) 66-74.
9. Beerkens, L.; van Basten, N.; Learner, T., 'Saving the colors. Decision making in the conservation of outdoor painted sculptures', in *CESMAR7 Conference, Colour and Conservation*, Il Prato publications, Milano (2015) 150-156.

10. Wharton, G., 'The challenges of conserving contemporary art', in *Collecting the new: museums and contemporary art*, ed. B. Altshuler, Princeton University Press, Princeton (2007) 163-178.
11. Clare, T. L.; Swartz, N. A., 'Chapter 19 - Characterization of high-performance protective coatings for use on culturally significant works', in *Intelligent coatings for corrosion control*, eds. A. Tiwari, J. Rawlins, L. H. Hihara, Butterworth-Heinemann, Amsterdam (2015) 641-671, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411467-8.00019-2>.
12. Benson, P., 'Some considerations in determining new paint systems for use in the treatment of painted fiberglass and steel outdoor sculptures', in *Conserving outdoor painted sculpture, Proceedings from the interim meeting of the modern materials and contemporary art working Group of ICOM-CC Kröller-Müller Museum*, eds. L. Beerkens & T. Learner, Otterlo, The Netherlands (2013) 87-94.
13. Langenbacher, J.; Rivenc, R.; Flavin, A., *Documenting painted surfaces for outdoor painted sculptures: a manual of laboratory and field test methods*, Getty Conservation Institute, Los Angeles (2017), http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/documenting_painted.
14. Defeyt, C.; Langenbacher, J.; Rivenc, R., 'Polyurethane coatings used in twentieth century outdoor painted sculptures. Part I: comparative study of various systems by means of ATR-FTIR spectroscopy', *Heritage Science* 5(1) (2017) 11, <https://doi.org/10.1186/s40494-017-0124-7>.
15. Spinari-Pollalis, T.; Liti, A.; Tzirtzilakis, G., *George Lappas. Encapsulation - Mappemonde - The Secret Book*, Catalogue exhibition, Kastaniotis publishing, Athens (2018).
16. Lappas, G., *George Lappas - Mappemonde*, Biennale of Venice, Aperto (1988).
17. 'Climate and Weather in Greece: A Traveler's Guide', in *Hikersbay* (2025), <https://hikersbay.com/climate/greece> (accessed 2025-07-13).
18. Alcántara, J.; Fuente, D. d. l.; Chico, B.; Simancas, J.; Díaz, I.; Morcillo, M., 'Marine atmospheric corrosion of carbon steel: a review', *Materials* 10(4) (2017) 406, <https://doi.org/10.3390/ma10040406>.
19. Tasker, J., 'Austenitic steels: non-stainless', in *Encyclopedia of materials: science and technology*, 2nd ed., Elsevier, Oxford (2001) 411-415.
20. Webb, M., 'Methods and materials for filling losses on lacquer objects', *Journal of the American Institute for Conservation* 37(1) (1998) 117-133, <https://doi.org/10.2307/3179915>.
21. Neuman, I.; Martin, J., 'Where east meets west: the conservation of a modern, large-scale, black lacquer sculpture exhibited in a public', in *Objects specialty group postprints*, vol. 4, eds. V. Greene & J. Griswold, AIC, Norfolk (1996) 42-61.
22. Beerkens, L., 'Side by side: old and new standards in the conservation of modern art. A comparative study on 20 years of modern art conservation practice', *Studies in Conservation* 61(sup2) (2016) 12-16, <https://doi.org/10.1080/00393630.2016.1155336>.
23. van Basten, N.; Langenbacher, J.; Defeyt, C.; Rivenc, R., 'Local treatment for monochrome outdoor painted metal sculptures: assessing the suitability of conservation paints for retouching', in *Conservation of sculpture parks conference; Spark - Conservation of Sculpture Parks*, Sisak (2018) 143-154.
24. Nagy, E. E.; Lippincott, A.; Lippincott, D.; Chasse, J.; Prosser, R., 'The treatment of a large painted outdoor sculpture: Kiosque l'évidé (1970) 1984, by Jean Dubuffet', *Journal of the American Institute for Conservation* 62(1) (2022) 28-57, <https://doi.org/10.1080/01971360.2022.2031456>.

RECEIVED: 2025.9.4

REVISED: 2025.10.31

ACCEPTED: 2025.12.27

ONLINE: 2026.9.15



This work is licensed under the Creative Commons

Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

To view a copy of this license, visit

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>.

Digital modelling as a tool for multidisciplinary study – the case of a rare sixteenth-century metallic globe

Modelação digital como ferramenta para estudo multidisciplinar – o caso de um raro globo metálico quinhentista

PAULA REDWEIK^{1,2} 
JOANA AMARAL³ 
ISABEL TISSOT^{4*} 
FRANCISCO CHORRO-
DOMINGUEZ⁵ 
M. JOSÉ MARÍN-MIRANDA⁵ 
SAMUEL GESSNER^{6,7} 

1. Department of Earth Sciences and Energy, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisbon, Portugal
2. Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisbon, Portugal
3. José de Figueiredo Laboratory – Museums and Monuments of Portugal, Rua das Janelas Verdes nº49, 1249-018 Lisbon, Portugal
4. LIBPhys-UNL, Department of Physics, Faculty of Science and Technology, NOVA University of Lisbon (NOVA-FCT), Caparica Campus, 2829-516 Caparica, Portugal
5. INTERRA - University Institute for Research into Sustainable Territorial Development, University of Extremadura Avenida de la Universidad, s/n, 10004 Cáceres, Spain
6. Interuniversity Centre for the History of Science and Technology, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisbon, Portugal
7. History of Astral Sciences, Laboratoire Temps Espace, Paris Observatory, 75014 Paris, France

*isabeltissot@fct.unl.pt

Abstract

While digital modelling of heritage objects has become standard practice, its multidisciplinary potential warrants greater emphasis. Using the case study of a rare Renaissance metallic celestial globe in Portugal, this article highlights the wide-ranging benefits of digitization across three key areas: historical research, conservation support, and public outreach. It underscores the importance of involving historians, digitization specialists, curators, and conservation professionals from the outset – both in prioritizing objects for modelling and in defining the criteria for digitization. The article advocates for a broad and inclusive perspective, encouraging awareness of the diverse disciplines that can benefit from digital models, whether in immediate applications or future research.

Resumo

A modelação digital de objetos patrimoniais tornou-se uma prática amplamente difundida, mas o seu potencial multidisciplinar continua a exigir mais investigação. A partir do estudo de caso de um raro e valioso globo celeste renascentista em metal, existente em Portugal, este artigo evidencia as múltiplas vantagens da digitalização enquanto ferramenta de investigação histórica, apoio à conservação e promoção da divulgação pública. Destaca-se a importância de envolver, desde as fases iniciais do processo, historiadores, especialistas em digitalização, museólogos e conservadores – tanto na definição das prioridades de modelação, como na formulação dos critérios de digitalização. Defende-se, assim, uma abordagem abrangente e inclusiva, que promova a consciencialização para a diversidade de disciplinas que podem beneficiar dos modelos digitais, seja em contextos de aplicação imediata ou em investigações futuras.

KEYWORDS

3D modelling
Scientific instruments
History of science
Preventive conservation
Public engagement

PALAVRAS-CHAVE

Modelação 3D
Instrumentos científicos
História da ciência
Conservação preventiva
Mediação cultural

Introduction

The study and conservation of scientific instruments have gained growing attention in recent years, with research being undertaken in various fields to explore the material culture of such instruments [e.g., 1-2]. However, further methodological development is needed to ensure the preservation of this heritage, which is characterized by a unique set of material and functional specificities [3-4]. Scientific instruments embody the practices of science and education, evident in their materials, construction, and functionality – and, perhaps most revealingly, in the marks of use and wear they accumulate over time.

The dual nature of scientific instruments – encompassing both material technology and intangible elements like gestures and modes of scientific use – demands interdisciplinary methodologies. To ensure comprehensive preservation, these approaches must integrate historical research, material analysis, and conservation practices. While notable progress has been made [e.g., 5-6], further research is needed to establish a truly holistic approach. Recent efforts have focused on developing integrated documentation methods for scientific instruments [7] and refining examination techniques that consider their specific material and functional characteristics, such as mechanical components and surface coatings [8]. Comparable methodologies have been applied to related heritage objects, including industrial engines [9] and kinetic art [10]. Additional research has focused on wear characterization [11] and innovative conservation techniques [12].

Many of these instruments are difficult or impossible to handle due to size, fragility, or significance, limiting physical analysis. Additionally, instruments with exceptionally large or minuscule dimensions present challenges in obtaining a comprehensive visual and global assessment. To overcome these limitations, the application of advanced study tools such as 3D scanning and modelling offers a promising solution. These technologies are already widely used in cultural heritage for dissemination and communication [13]. More recently, they have been employed for historical study and conservation monitoring in fields such as, for example, paintings, sculptures, and archaeology [e.g., 14-16]. Despite their potential, their application to the study and conservation of scientific heritage remains underexplored.

Although 3D scanning and modelling are not new techniques, this study proposes a distinct and integrated approach that utilizes accessible equipment and software, both user-friendly and relatively low-cost. One key advantage of these tools is their ability to capture extensive information before and during conservation and restoration processes, enabling detailed object analysis without causing harm. This accessibility makes them especially valuable for documenting and studying fragile, remote, or otherwise difficult-to-access objects.

The Schissler Globe as a case study

The Schissler Globe, a rare sixteenth-century metallic celestial globe, exemplifies a complex and historically significant scientific instrument that remains difficult to access. Its scientific and historical value makes it an ideal case study for exploring how 3D scanning and modelling can aid historical research, conservation, and public engagement. The Globe was produced in 1575 in one of the most renowned workshops for mathematical instruments in Augsburg, Germany. The craftsman Christoph Schissler the Elder (c. 1531-1608) created numerous and various instruments, such as compasses, geometric squares, and astronomical compendia [17]. Many of these were intended for nobles interested in the mathematical arts. The time of the Globe's arrival in Portugal remains unclear, but by the late monarchy, it embellished King D. Carlos's private library at the Palácio das Necessidades. In 1956, it was selected for permanent display at the Palácio Nacional de Sintra, where it remains. Its significance was first noted by António Estácio dos Reis [18-19] and later Gessner showed how it was linked to Caspar Vopel's 1536 globe [20].

A celestial globe is a spherical model of the sky that depicts the visible star constellations as seen from the centre of the Earth. Traditionally, such globes were used to simulate the apparent

motion of fixed stars and the Sun, both above and below the horizon, when suitably mounted in a stand. Globes can represent and explain the variation of the length of day and night at different terrestrial latitudes and across different seasons of the year. Using their various scales, one can determine sunrise and sunset times, the azimuth of a star's rising, and many more things.

With 42 cm in diameter the Schissler Globe is among the larger metallic globes surviving from the sixteenth century [21]. Its surface is composed of twelve copper gores, riveted or screwed onto a skeleton made of circular metal bands. The hollow structure is traversed by an iron axis forming its centre. Tilted with respect to this axis, at approximately 23.5 degrees, at opposite points of the Globe, two axes extend outward and suspend the Globe within a meridian ring. The entire surface of the Globe, along with the meridian ring, is engraved and gilded [22]. The engravings feature the classical constellations, canonical since antiquity, with corresponding labels as well as a couple of constellations introduced in the sixteenth century. Several bright individual stars are given with their names, such as Vega, Arcturus, and Spica, along with the principal celestial circles used in astronomy, such as the celestial equator and the ecliptic, the tropic and arctic circles. Several components that were originally part of the structure are now missing: the hour circle and its index, which allowed the rotation of the Globe to be tracked, and the horizontal ring with its stand, on which the Globe was originally placed.

Towards the creation of a multidisciplinary analytical tool

Preliminary tests for the digitalization of the Globe

The core of our approach consisted in the digitisation of the Globe using near-range photogrammetry and multiview automation. Various setups were tested to ensure a complete, high-quality, well-framed photographic coverage of the sphere. Due to the Globe's fragility, value, and permanent display at the Palácio Nacional de Sintra, initial testing was conducted with two dummy globes. The first test, carried out in diffuse indoor lighting, showed that fixing the camera on a tripod and rotating the globe produced better results than moving the camera. A need for higher-resolution imaging was also identified. However, two additional challenges had to be overcome in the case of the Schissler Globe: the absence of its original stand and surface deformation that restricted rotation within the meridian ring. To overcome these, a custom support had to be designed to stabilize and safely rotate the Globe during photography.

In a second phase, we used a dummy globe of the same diameter *in situ* at the Palácio Nacional de Sintra and tested a support frame built from available materials in coordination with conservation staff. The setup – two stacked tables, wooden bars, and screws (Figure 1) – was designed to ensure stability and safe imaging. Foam panels surrounding the table helped to diffuse light, minimize reflections and optimize the visibility of engraved lines as dark lines on a light background. The Globe remained secure throughout and all components were fully reusable, with minimal, reversible modification. The final imaging was conducted employing three LED panels in a sunlight-free room, ensuring both image quality and the Globe's preservation (Figure 1b).

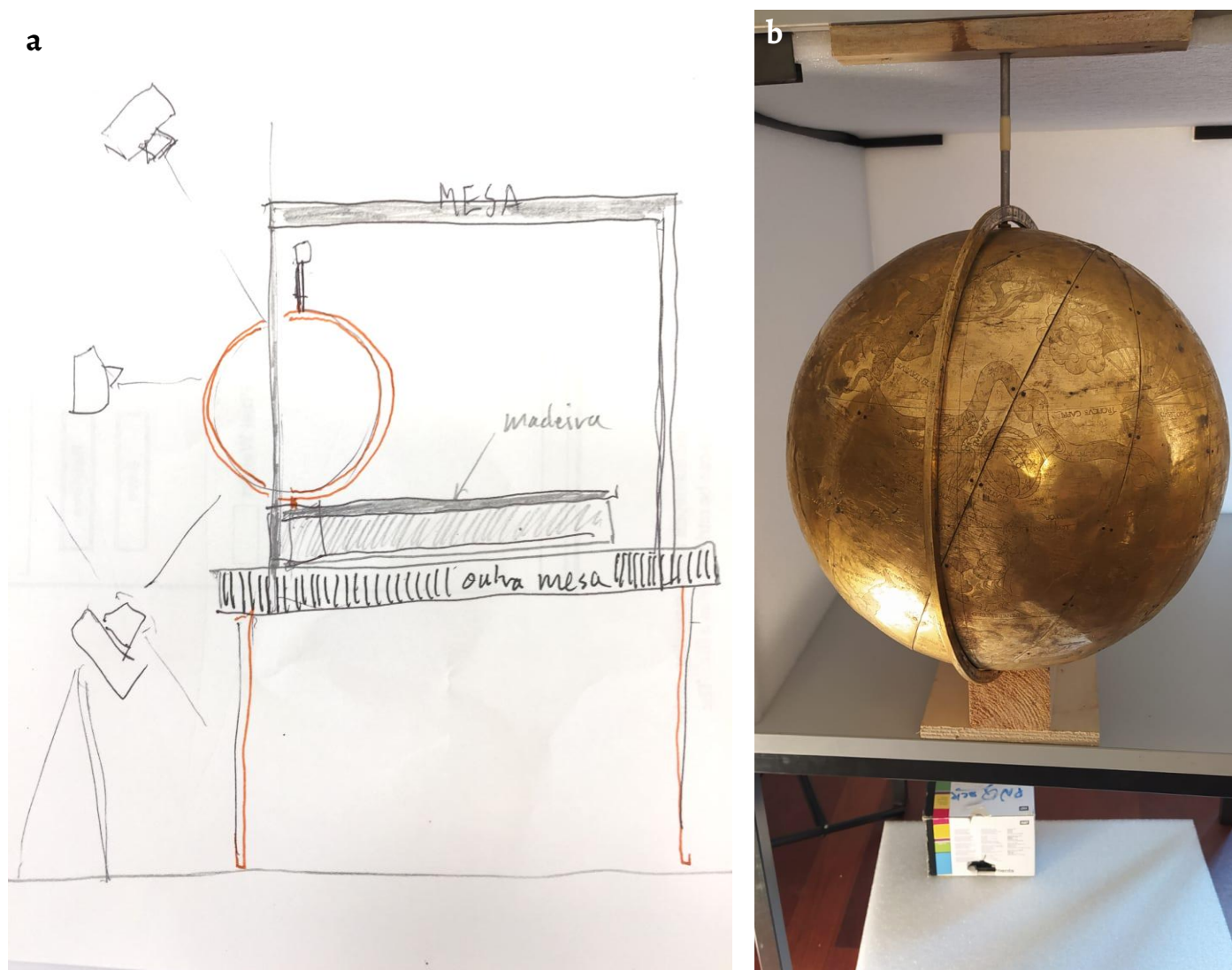


Figure 1. Support for the Globe: a) design sketch; b) Schissler Globe inserted in the support.

Image acquisition

Preliminary tests had shown that three fixed camera positions – aligned with the equator, Arctic, and Antarctic circles – provided full surface coverage with sufficient image overlap. At each position, the Globe was rotated 15° around its North-South axis between shots, producing 25 images (the last overlapping the first). Because part of the surface was obscured by the meridian ring the conservator decided to remove it and a fourth image set was taken (Figure 2). For this last set, the Globe rested on a torus-shaped cushion with its axis in horizontal position. For the first three sets, the Globe rotated around its own iron axis; for the fourth, the cushion was rotated. This approach ensured the Globe's surface remained unstressed throughout.

We used a 50 Mpixel Canon EOS 5DSR camera controlled through an application on laptop computer via a USB cable. Aperture, exposure, and object distance were kept constant while changing the camera position for each image set. It was crucial that these parameters remained unchanged for all photographs also within each set. The object distance was about 47 cm (to the nearest point on the Globe) in all sets. Remote control triggered the shutter to avoid vibrations, thereby ensuring maximum image sharpness.

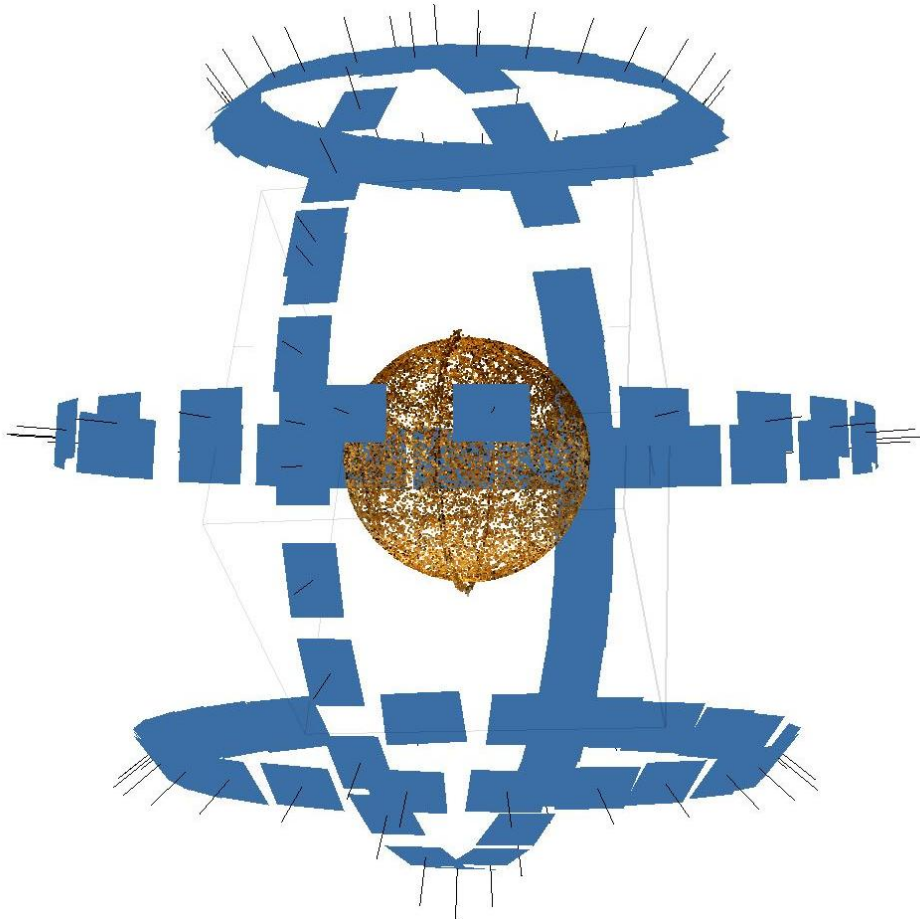


Figure 2. Virtual configuration of the photographic sets around the Globe. The vertical series of picture planes corresponds to the fourth set, covering the area previously hidden behind the meridian ring.

Photogrammetric: processing

Image masking and alignment

The 145 photographs taken under slightly varying lighting conditions were processed by the software Agisoft *Metashape* (v1.6.1) [23] to create a 3D model. Initial processing was disrupted by surrounding elements like table legs despite using white foam panels to neutralize the background.

As a workaround, masks were applied to exclude all elements beyond the Globe. The camera setup with four fixed positions required only four different masks as it allowed the reuse of one single mask per position. Each one was manually created in Adobe Photoshop [24], saved as an alpha channel in one reference image, and imported into *Metashape* for batch application across the corresponding set. After masking, the photographs were aligned in *Metashape*, which automatically calculated their relative orientations. With extraneous elements masked, *Metashape* used only Globe's features to determine camera positions and orientations. This created the virtual setup shown in Figure 2, simulating a stationary Globe with a moving camera.

Point cloud and mesh

Based on successful photo alignment a dense point cloud could be generated by intersecting 3D rays from matching points across images (Figure 3). The surface details are very clear, and the Globe's geometry is accurately reconstructed without relying on colour. The point cloud is complete and the surface irregularities match those of the original. A lighter band in the point cloud model appears in the area lying behind the meridian ring. The colour variation there is due to different lighting affecting the fourth image set. Despite this variation, a mesh was then created and textured with high-resolution images, producing a detailed 3D model of the Globe.

Since the point cloud and mesh lack inherent scale, the model was scaled in Agisoft *Metashape* [23]. Radiography and tomography studies [22] showed that the Globe's inner skeleton has an internal iron axis between the ecliptic poles. These ecliptic poles therefore offer the most stable reference points. The known 420 mm diameter between the poles was used to scale the model. A 3D coordinate system was then defined using three reference points: the ecliptic North Pole (ECNP), South Pole (ECSP), and the vernal point (ARIES). Each reference point was identified in at least three images, and their average 3D positions were used to define coordinates (in mm): ECNP = (0, 0, 210), ECSP = (0, 0, -210), and ARIES = (210, 0, 0), the origin representing the Globe's estimated centre. The X-axis passes through ARIES, the Z-axis aligns with the ecliptic poles, and the XY-plane defines the ideal ecliptic plane (Figure 4).

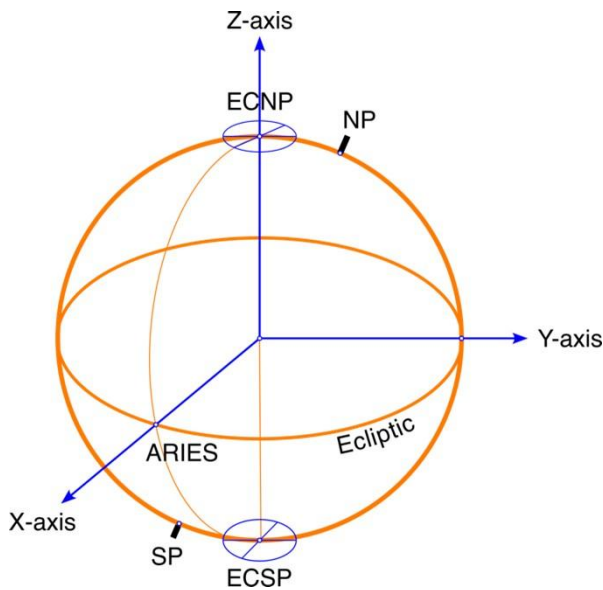


Figure 4. 3D coordinate system defined for the Globe.

Deformations imaging

That the Globe cannot freely rotate within its meridian ring is due to deformation which occurred at some point after its manufacture. It is more likely due to a deformation of the spherical shape rather than of the meridian ring whose cross section makes it very solid. Our analysis therefore focused on the geometry of the Globe's surface. Any deviation from an ideal spherical form was treated as deformation. To assess this, *CloudCompare* [25] (v2.13 alpha) was used as the primary tool. First, a 420 mm reference sphere was created in *CloudCompare* using the *Primitive Factory* tool and centred on the origin of the previously defined coordinate system. The dense point cloud with the same centre was then imported. The *Cloud-to-Primitive* tool in *CloudCompare* calculated the distances between all the points and the ideal sphere – thus quantifying surface deformations. Analysing the histogram of the distances we were able to readjust the diameter of the sphere so that the most populated bin became the one with zero distance (less than 1 μm). The adjusted diameter was calculated as 421.107 mm. This way we created a sphere that privileges the undeformed Globe points. We deliberately disregarded the deformations when making this diameter adjustment, therefore not applying a least squares best fit method. We introduced a colour scale to the results to facilitate interpretation: red and orange indicate negative deviations (inward deformations), white represents neutral areas (no deviation or small deviation), and green to blue signify positive deviations (outward bulging of the surface). This process yielded two digital reproductions of the Schissler Globe: a high-resolution textured 3D model capturing surface details and inscriptions, and a deformation model showing deviations from a ca. 420 mm ideal sphere. Both are complete, highly detailed, and geometrically precise – even fine chisel marks are visible. With the exception of the meridian ring, the scaled textured 3D model can serve as a true digital twin, offering valuable support for research and outreach as will be shown in the sections below.

The tool in action

Thanks to these digital models, the Globe can be analysed from multiple disciplinary perspectives, employing either the textured model or the deformations model, as appropriate. The examples discussed here range over three distinct disciplinary fields: historical research, conservation, and public dissemination.

Reading Schissler's practices through star positions

Celestial globes are mathematical instruments that, among other functions, provide an overview of stellar constellations and yield star positions. An inscription on the Globe refers explicitly to the adjustment of the engraved positions in accordance with the precession of the equinoxes: "The stars of this globe were numbered and distributed according to the motion of the eighth sphere and adjusted to our times and year of 1575". The maker reveals, however, neither the source of the stellar coordinates nor the method by which the precession correction has been obtained. An earlier study based on only four stars near the ecliptic [21], showed a match between the Globe's longitudes and the Copernican precession value. The high-resolution 3D model now allows measurement of many more stars, enabling a more sophisticated study comprising three aspects: comparison with various star catalogues available to the maker, estimating the precession value applied, and possible systematic errors due to Schissler's craft procedure to position the stars.

The task involves identifying stars on the Globe and measuring their XYZ coordinates from the 3D model, which are then converted into angular ecliptic coordinates. This transformation enables direct comparison with historical star catalogues and provides a basis for estimating the amount of precession calculated and applied by Schissler for the year 1575. In order to produce a meaningful estimation, it is essential to consider several factors affecting accuracy: the precision of the historical catalogue data, the accuracy of Schissler's engraving, and the positional fidelity of our measurements derived from the digital model. For this preliminary study, fifteen labelled stars of first or second magnitudes, and distributed across the Globe were selected (Figure 5). From the textured 3D model Cartesian XYZ coordinates were obtained through a triangulation via least squares adjustment between measurements on all photographs on which the star was well visible, performed by *Metashape* software [23].

A MATLAB routine [26] converted the Cartesian coordinates into ecliptic latitude (β) and longitude (λ) by using the following Equations 1-2:

$$\beta = \sin^{-1} \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} \quad (1)$$

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{Y}{X} \quad (2)$$

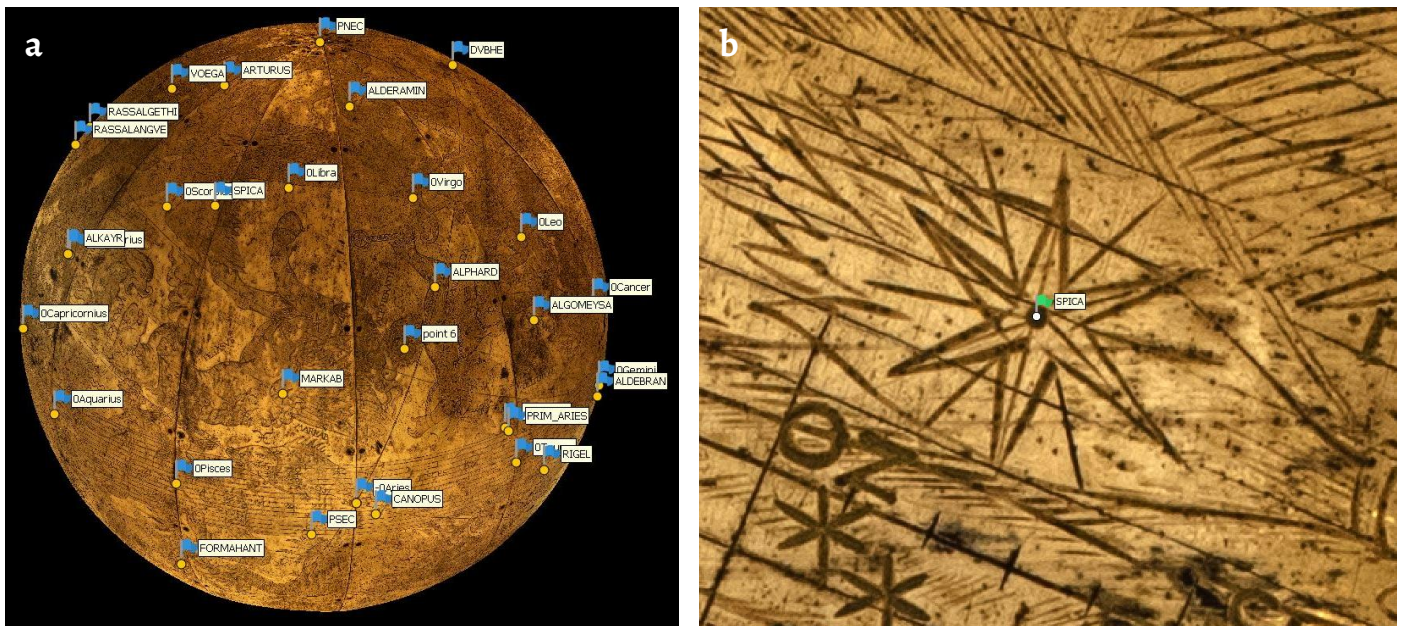


Figure 5. Schissler Globe: a) selected stars used to estimate the precession correction used by Schissler, along with the zero points of the zodiac signs marked on the 3D model; b) measurement of the star Spica Virginis on a single photograph, providing input for the least squares triangulation (based on all measurements on photographs on which the star was well visible) to estimate its spatial position within the 3D model.

Each star measured on the Schissler Globe was compared with historical catalogues Schissler may have accessed. This study, being still in a preliminary phase, focuses on two: Ptolemy's catalogue (Toomer's 1984 edition based on Greek manuscripts [27]) and Copernicus' *De Revolutionibus* (1543) [28] (Table 1). While the Globe's inscription states that its stars were adjusted to 1575, both the source of coordinates and method of adjustment are to be determined.

Table 1. The set of fifteen selected stars for which ecliptic latitude (β) and longitude (λ) were measured, listed in order of decreasing latitude. Stars are identified by the labels found on the Globe. The subscript *P* or *C* references Ptolemaic resp. Copernican values; the index *i* runs through the stars used. Weighted deviations –cf. Equation 4– Δ_i^w of over $\frac{1}{2}^\circ$ are marked in bold.

Engraved star name		Latitude β	Longitude λ	Shift ζ_P [°] w/r Ptolemy 1984	Weighted Δ_{iP}^w	Shift ζ_C [°] w/r to Copernicus 1543	Weighted Δ_{iC}^w
ALDERAMIN	α Cep	68.54	6.54	19.88	0.41	26.54	0.35
VOEGA	α Lyr	62.08	278.49	21.16	-0.07	27.82	-0.15
DVBHE	α UMa	48.84	127.75	20.08	0.61	23.75	2.47
RASSALGETHI	α Her	37.55	248.79	21.12	-0.09	27.79	-0.23
RASSALANGVE	α Oph	36.00	255.95	21.21	-0.17	27.78	-0.22
ARCTURUS	α Boo	32.52	197.96	20.96	0.04	27.63	-0.10
ALKAYR	α Aql	29.29	294.80	21.07	-0.06	27.64	-0.11
MARKAB	α Peg	19.39	347.48	20.81	0.18	27.48	0.03
SPICA	α Vir	-2.58	197.57	21.17	-0.16	27.57	-0.06
ALDEBRAN	α Tau	-5.45	63.46	20.79	0.21	27.46	0.05
ALGOMEYSA	α CMi	-16.37	110.29	21.12	-0.11	27.79	-0.27
ALPHARD	α Hya	-20.44	141.04	21.04	-0.03	27.71	-0.19
RIGEL	β Ori	-31.82	70.71	20.98	0.03	28.21	-0.60
ALHABOR	α CMa	-39.26	99.05	21.38	-0.29	28.05	-0.42
CANOPUS	α Car	-74.92	100.05	22.88	-0.49	29.55	-0.53
Weighted average shift $\bar{\lambda}$				21.01*		27.51*	
Variance				0.074		0.059**	

*The average longitude shift $\bar{\lambda}$ is calculated by weighing the values by the cosine of latitude ($\cos \beta$) of the star.

**Variance for the Copernican longitudes without the outlier "DUBHE".

Table 1 presents one method to estimate the average longitude shift ($\bar{\lambda}$) as an approximation of the correction presumably applied by the Globe's maker. $\bar{\lambda}$ is obtained from the difference between the measured longitude (λ) of each selected star on the Globe and its catalogued longitude (λ_{cat}), expressed as $\zeta = \lambda - \lambda_{\text{cat}}$. To obtain a meaningful average (Equation 3), these differences are weighted according to the star's latitude:

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum_i \zeta_i \cos \beta_i}{\sum_i \cos \beta_i} \quad (3)$$

This is justified, since manufacturing errors in longitude near the poles translate into proportionally larger angular deviations [29]. Similarly, to get an estimate of the overall closeness of a given catalogue with the engraved star positions, we evaluate the variance of the applied shift. Here all (unweighted) differences Δ between the measured longitudes (λ) and the shift-updated positions ($\lambda_{\text{cat}} + \bar{\lambda}$) are analysed. Since the error is expected to increase with

latitude, weights based on the cosine of the latitude ($\cos \beta_i$) are introduced (Equation 4) to account for this effect:

$$\Delta_i^w = (\zeta_i - \lambda) \cos \beta_i \quad (4)$$

The weighted variance is then the sum of the squares of these differences Δ_i^w divided by the number of stars minus 1. When comparing the weighted deviations Δ_i^w of individual stars, anomalies are readily identified. The variance is lower with respect to Copernicus' catalogue, which suggests that this is a likely source for the Globe's star positions. Nevertheless, the star Dubhe stands out as an outlier relative to Copernicus' data, while its deviation from Ptolemy's values resembles that of the other stars. As we cannot exclude manufacturing lapses or occasional interventions by Schissler, isolated outliers were not included in such statistical analysis. Moreover, examining the full set of stars reveals that those with deviations exceeding $\frac{1}{3}^\circ$ are all located north of 48° or south of 31° ecliptic latitude. This pattern points to a possible systematic error in longitude that grows with increasing distance from the ecliptic. Such systematic discrepancies could plausibly originate from the mechanical process used to mark the stars on the Globe.

Finally, regarding the underlying precession theory, the average difference in longitude between the values in different catalogues and the Globe's positions – explicitly adjusted for 1575 – must be examined. More research is needed in that respect because various different hypotheses about Schissler's procedure still need to be tested. For now, the consistent fit of star Dubhe's longitude as given in Ptolemy (1984 edition, based on Greek manuscripts) in contrast with its deviation of near $2^\circ 30'$ when compared with Copernicus or even with Ptolemy's sixteenth-century print editions can serve as a marker. So, while Ptolemy's catalogue could serve as the basis for star positions, the longitude shift applied to it remains to be explained. Ptolemy's precession of 1° per century does not fit the numbers. Alfonsine precession theory (e.g. using a star catalogue with the Alfonsine epoch of 1 June 1252) would amount to a longitude shift of $20^\circ 19'$: nearly 1° less than what we measured. This difference of ca. 1° for many globes after 1550 has been noted by Dekker [30]. Indeed, based on the chosen stars of the Schissler Globe, the Copernican precession theory provides a better fit. Specifically, the average longitude shift of approximately $27^\circ 30'$ relative to Copernicus' catalogue is very close to Copernican precession theory, which stipulates a shift of $27^\circ 49'$. This finding corroborates the preliminary conclusion reached by Gessner [21]. One observes, however, that the deviations of Schissler's star positions from Copernicus' values are scattered by about $\frac{1}{3}^\circ$ (standard deviation derived from the variance). The near-exact correspondence reported in Gessner [21], based on only four stars, was coincidental while the present result, based on more stars, better represents the realities of globe manufacture. A clear path for future research emerges. Including a larger set of stars and incorporating additional historical star catalogues may uncover further characteristic outliers, show systematic 'error' patterns, potentially linked either to Schissler's mechanical method for marking star positions on the Globe or to the particular source catalogue he employed.

How did Schissler build the Globe? Construction and material analysis

The analysis of the Globe allows furthering our understanding of Schissler's craftsmanship and of his manufacturing process. The detailed 3D model offers comprehensive access to the surface features enabling both thorough documentation and study of the construction – and this without direct physical access to the Globe itself. As mentioned above, the Globe is composed of twelve gilt copper gores fixed by rivets on top of a metallic frame. The centre points of the stars were punched, and inscriptions, constellation figures, stars, and celestial circles were engraved and chiselled into the surface. Subsequently the spherical copper plates were fire-gilded using mercury gold alloy technique [22].

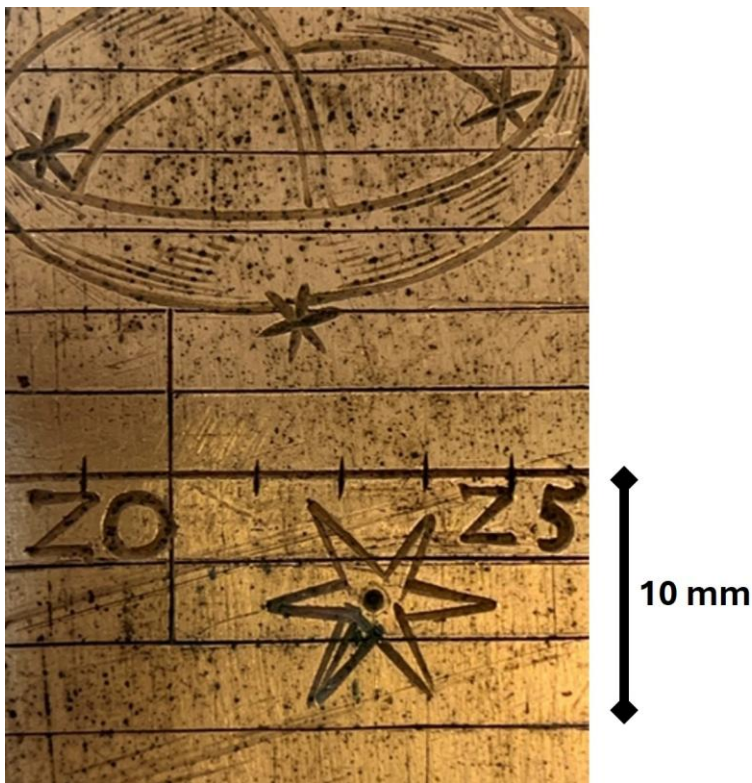


Figure 6. Detail of the engraved and chiselled inscriptions on the Globe, revealing aspects of the manufacturing process, especially the sequence of inscriptions. Shown is a portion of the sign of Scorpio, the scale of the ecliptic and some stars of the constellation Libra.

By combining 3D modelling with high-resolution photography, a detailed analysis of the decorative process becomes possible. It reveals the sequential order in which the elements were inscribed. For example, as shown in [Figure 6](#), intersecting lines indicate that the ecliptic was traced first, followed by vertical line markings in its scale, the constellation figures, the numbering, and finally the stars themselves. Before the stars were fully depicted, the centre of the larger ones was initially marked with a punch. Additionally, visible corrections and refinements were identified: for instance, in [Figure 6](#), the large star south of the ecliptic shows overlapping lines suggesting that one line was retouched after the others. This analysis offers valuable insight into the artisan's working technique, enabling comparisons with methods of other craftsmen and offering a deeper understanding of the visual language and craftsmanship behind the Globe. Such observations are rendered particularly easy through digital modelling – rather difficult to attain extensively without permanent access to the Globe.

The digital modelling also enables studying deformations linked to the Globe's construction technique. For example, [Figure 7](#) highlights deformation in the North Pole area where the ends of the gores are attached to the top of the pole by rivets. Around each rivet, inward deformations (revealed by red colour) occur ranging from approximately -0.5 to -1.0 mm, corresponding to the mechanical stresses induced by fixing the metal plates in place. Similar deformations can be seen alongside other fixations of the gores. Additionally, the plate areas adjacent to the top fixations exhibit distortions relative to the ideal sphere, resulting from the tension required to bend and hold the gores at the poles. Recognizing these manufacturing-related deformations is crucial, as the accumulated tension from fixation pressure may lead to progressive structural alterations over time.

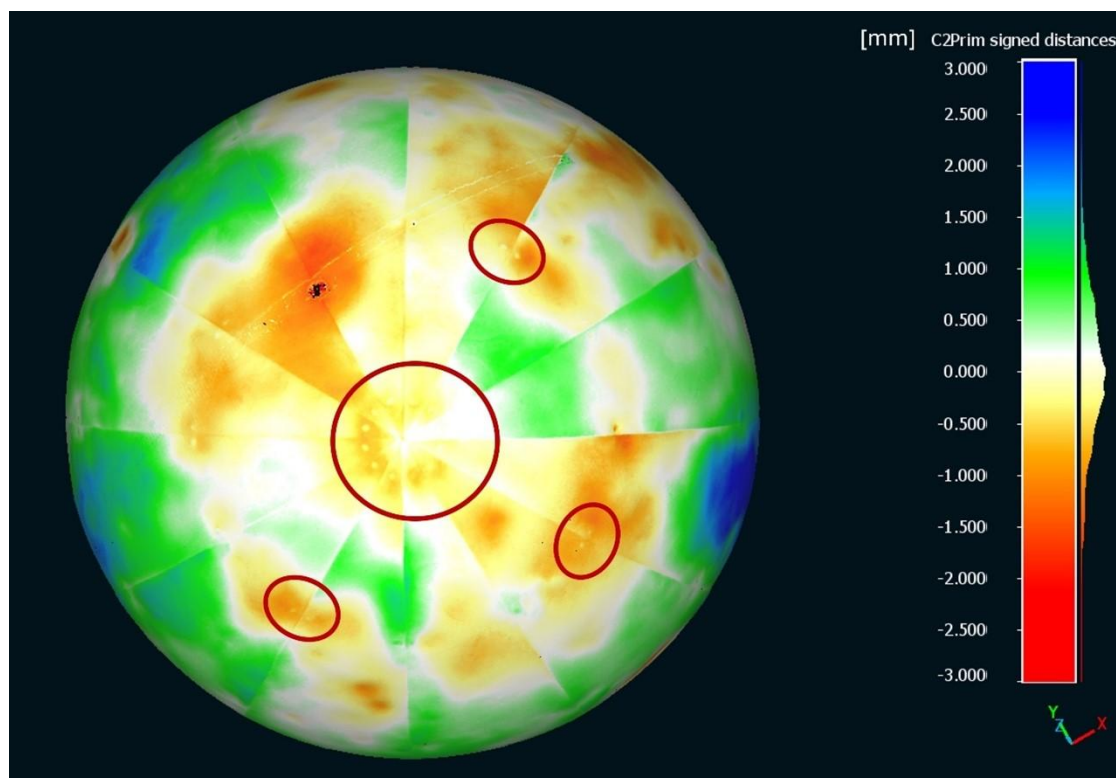


Figure 7. Deformation mapping of the ecliptic North Pole region. Red circles highlight the areas with rivets where the plates are fixed to the structure. Adjacent plate areas show deformation due to the tension required to bend and secure them at the poles.

How does it look like today? Conservation analysis

One of the most valuable applications of digital modelling lies in preventive conservation, offering a quantitative basis for monitoring the Globe's physical state over time. By establishing a detailed 3D reference model at a specific moment, subsequent scans can be systematically compared to detect subtle changes such as wear, cracking, or surface corrosion. This capability transforms conservation from a reactive to a proactive practice, enabling the identification of early-stage deterioration. Importantly, the detection of deformations related to original manufacturing stresses – such as localized tension in certain areas – provides critical information for adjusting environmental and display conditions to mitigate further mechanical strain. Such targeted interventions can reduce the risk of exacerbating damage, including the formation of cracks or permanent distortions.

Figure 8 presents a good example of this potential by mapping deformations around the Globe's ecliptic South pole. A notable inward deformation of approximately -2 mm is to be observed in an extensive region. It is not attributable to manufacturing processes. Further investigation revealed that this deformation resulted from prolonged static loading, as the Globe had been resting on a support directly beneath this pole for an extended period. Although the copper plates have a considerable thickness (estimated between 1.5 and 2.0 mm), the cumulative weight of the Globe (around 7 kg) caused material fatigue and deformation under sustained pressure. This case study underscores how digital modelling can uncover otherwise hidden conservation risks and inform necessary modifications to display and handling protocols to better preserve such artifacts.

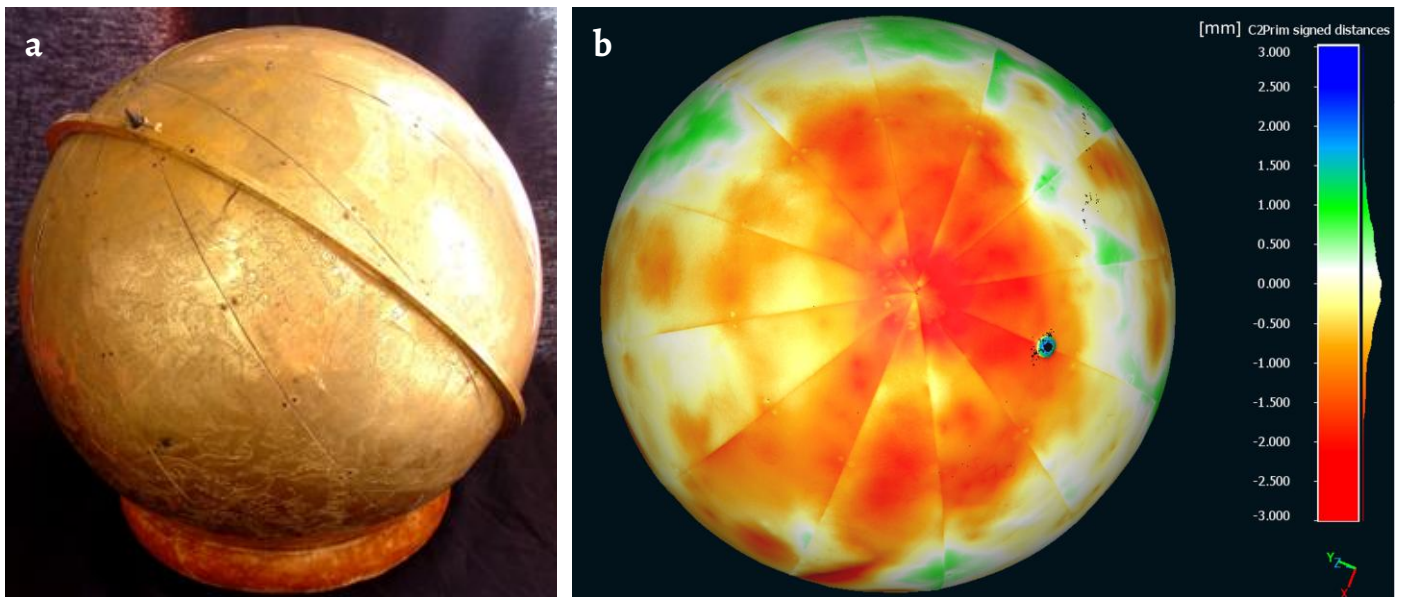


Figure 8. The Globe displayed on a torus shaped base cushion, with its entire weight resting near the southern ecliptic pole (a). The deformation model shows inward deformations caused by prolonged exhibition in this position (b).

The Schissler Globe for all

A key application of the Globe's digital twin is to provide free and universal access to this important heritage object through the internet. This channel can be used for enhancing its dissemination and public engagement. To achieve this, the 3D textured model has been integrated into an interactive web application (<http://bit.ly/3ZLB1oS>) developed on the ArcGIS Online platform [31] (Figure 9). The application opens with an introductory page summarizing the Globe's general and historical context. Users can then navigate to a 3D viewer that allows full exploration of the Globe – rotating, zooming, and panning in any direction.

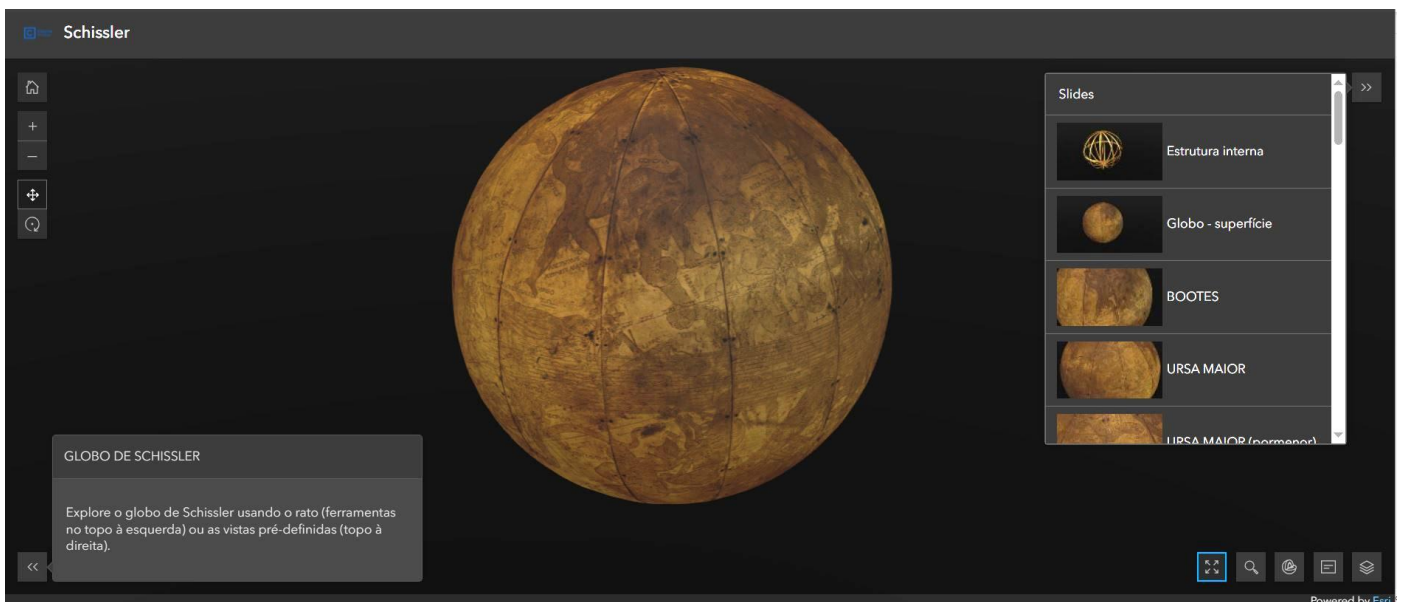


Figure 9. Screenshot of the web application based on ArcGIS Online. Exploring page of the developed application. On the right side, the structure of the guided tour. On the left side the navigation commands. On the bottom right, app commands: magnifying (an additional zoom by means of a virtual magnifying glass), slicing (to see the interior structure), return to the info page and layer selection.

The platform is designed to provide an engaging guided tour, highlighting the celestial Globe's interior structure, gilded surface, and key constellations. Additionally, users can interactively click on any location on the Globe's surface to access pop-up windows containing detailed information about the principal constellation or feature in that area. To maintain web performance and responsiveness, a reduced-resolution 3D model is employed within the viewer. However, each pop-up includes a direct link to an original high-resolution photograph of the corresponding region, opening in a separate window. This feature is a simple way to allow detailed examination of the Globe's surface at a resolution exceeding that of the 3D model itself. The original photographs, intended primarily for an expert audience such as conservators and researchers, offer approximately 30 % higher resolution than the sub-millimetre accuracy of the 3D model. In the central areas – those nearest the camera during image capture – the pixel size corresponds to roughly 0.06 mm on the actual object. This dual-level access balances usability for general audiences with the detailed analytical needs of specialists, ensuring the Globe's visual and structural intricacies are accessible to a broad spectrum of users.

Conclusions

This study demonstrates the transformative impact of digital modelling on the research, preservation, and public engagement of historical scientific instruments, as exemplified by the case of Christoph Schissler's sixteenth-century celestial Globe. The creation of a high-resolution 3D digital twin yielded three major outcomes: it enables detailed historical analysis of star positions and manufacturing techniques; it supports conservation by detecting surface deformations; and it enhances accessibility through an interactive web platform designed for both experts and the general public. Handling and imaging a fragile, reflective metallic object poses a challenge. The project's success relied on close coordination with conservation professionals thorough the preparation of the photographic environment, and maintaining fixed camera positions under controlled lighting to avoid visual artifacts. These measures ensured the object's safety while enabling high-quality data capture. Multiview photogrammetry software was instrumental not only in reconstructing the 3D model but also in defining a precise internal coordinate system. With external control points unavailable due to display constraints, spatial referencing was achieved using three distinct features on the Globe. This allowed for accurate scaling and orientation, culminating in both a textured model and a deformation map that visualizes deviations from an ideal sphere – essential tools for future research and preservation.

Importantly, the study lays the groundwork for future work in multiple directions. The historical analysis will benefit from expanding star position measurements to include a broader selection of stars, allowing for comparisons with various historical catalogues such as those of Ptolemy, the Alfonsine Tables, and the Prutenic Tables. This would deepen the understanding of the Globe's astronomical content and its alignment with contemporary knowledge. Additional studies comparing similar globes from the same period could also reveal systematic production patterns. With heritage preservation in mind, periodic re-digitization will be a means to monitor structural changes over time and support preventive conservation. Finally, in view of outreach applications, digitally reconstructing lost components – such as the stand, hour circle, and other typical components – would enable a more complete and functional virtual representation. Ultimately, this project illustrates how digital modelling can unlock new interdisciplinary insights, minimize physical intervention, and ensure lasting, sustainable access to cultural heritage. The Schissler Globe serves as a compelling case of how 3D digitization can broadly benefit scientific heritage objects by fostering interdisciplinary research and promoting sustainable, accessible preservation.

Acknowledgements

This work was supported by the Portuguese Fundação para a Ciência e Tecnologia, FCT, I.P./MCTES through national funds: 2020.02581.CEECIND; (PIDDAC): LA/P/0068/2020 (<https://doi.org/10.54499/LA/P/0068/2020>), UID/50019/2025, (<https://doi.org/10.54499/UID/PRR/50019/2025>), UID/PRR2/50019/2025 (<https://doi.org/10.54499/UID/PRR2/50019/2025>), LIBPhys-UNL (<https://doi.org/10.54499/UID/04559/2025>); CIUHCT: UID/00286/2025 (<https://doi.org/10.54499/UID/00286/2025>). Palácio Nacional de Sintra, Parques de Sintra - Monte da Lua, S.A.

REFERENCES

- Ramos Carrillo, A.; Moreno Toral, E.; Ruiz Altaba, R., 'Historical-scientific heritage and the university: the two pillars of the History of Pharmacy collection in the Faculty of Pharmacy of the University of Seville', *Conservar Património* **45** (2024) 36-49, <https://doi.org/10.14568/cp28835>.
- Suay-Matallana, I., 'The material culture of the customs laboratory of Lisbon', *Conservar Património* **30** (2019) 131-139, <https://doi.org/10.14568/cp2018001>.
- Lourenço, M. C.; Wilson, L., 'Scientific heritage: reflections on its nature and new approaches to preservation, study and access', *Studies in History and Philosophy of Science Part A* **44**(4) (2013) 744-753, <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2013.07.011>.
- Lourenço, M. C. (ed.), *O Laboratório químico da Escola Politécnica de Lisboa. História, coleções, conservação e musealização*, Museus da Universidade de Lisboa, Lisboa (2013).
- Magnolo, S.; Galán-Pérez, A., 'Theoretical perspectives: sociology and the conservation of scientific heritage', *Frontiers in Sociology* **9** (2024), <https://doi.org/10.3389/fsoc.2024.1473206>.
- Schröter, J.; Foasso, C.; Bellot-Gurlet, L.; Brambilla, L., 'Investigating five totalizing counters manufactured by the Alphonse Darra company of the CNAM collections in Paris', *Conservar Património* **44** (2023) 90-102, <https://doi.org/10.14568/cp29230>.
- Lourenço, M. C.; Gessner, S., 'Documenting collections: cornerstones for more history of science in museums', *Science & Education* **23** (2014) 727-745, <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9568-z>.
- Aguila, E.; Vargiolu, R.; Zahouani, H., 'Étude de l'usure des mécanismes d'horlogerie antiques : application à la restauration du «Tellurium» (1819)', poster, 28^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie (JIFT), École Nationale d'Ingénieurs de Saint-Etienne (2016), <https://jift2016.sciencesconf.org/100810.html> (accessed 2018-10-14).
- Tissot, I.; Manso, M., 'Industrial heritage: new paradigms for new conservation challenges', in *Current approaches, solutions and practices in conservation of Cultural Heritage*, eds. G. Emre, A. Yilmaz, P. Pogliani, G. Ildiz & R. Fausto, Istanbul University Press, Istanbul (2024) 159-176, <https://doi.org/10.26650/B/AA9PS34.2024.006.008>.
- Caleca, M.; Mejía Muñoz, N.; Pollak, E.; Rodriguez Plassa, A., 'The sounds of Jean Tinguely: acoustic imaging as a tool for the kinetic art conservation', student report, Worcester Polytechnic Institute, Zurich (2023), https://digital.wpi.edu/concern/student_works/pr76f771d (accessed 2026-03).
- Hess, A., 'Authenticity, alterations and museum objects: A close encounter with 2LO, the BBC's first radio transmitter', *Journal of Material Culture* **22**(3) (2017) 281-298, <https://doi.org/10.1177/1359183517702685>.
- Lemos, M.; Tissot, I., 'Reflection on the conservation challenges of scientific and technological objects', *Conservar Património* **33** (2020) 24-31, <https://doi.org/10.14568/cp2018044>.
- Agosto, E.; Bornaz, L., '3D models in cultural heritage: approaches for their creation and use', *International Journal of Computational Methods in Heritage Science* **1**(1) (2017) 1-9, <https://doi.org/10.4018/IJCMHS.2017010101>.
- Lanteri, L.; Calandra, S.; Briani, F.; Germinario, C.; Izzo, F.; Pagano, S.; Pelosi, C.; Santo, A. P., '3D photogrammetric survey, raking light photography and mapping of degradation phenomena of the early renaissance wall paintings by Saturnino Gatti – case study of the St. Panfilo Church in Tornimparte (L'Aquila, Italy)', *Applied Sciences* **13**(9) (2023) 5689, <https://doi.org/10.3390/app13095689>.
- Acke, L.; De Vis, K.; Verwulgen, S.; Verlinden, J., 'Survey and literature study to provide insights on the application of 3D technologies in objects conservation and restoration', *Journal of Cultural Heritage* **49** (2021) 272-288, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.12.003>.
- Makris, D.; Sakellariou, C.; Karampinis, L., 'Emerging materiality through dynamic digital conservation', *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* **23** (2021) e00198, <https://doi.org/10.1016/j.daach.2021.e00198>.
- Bobinger, M., *Schissler der Ältere und der Jüngere* (Schwäbische Geschichtsquellen und Forschungen **5**), Verlag Die Brigg, Augsburg/Basel (1954).
- Estácio dos Reis, A., 'The oldest existing globe in Portugal', *Der Globusfreund. Wissenschaftliche Zeitschrift für Globen- und Instrumentenkunde* **38** (1990) 57-65.
- Estácio dos Reis, A., 'Old globes in Portugal', *Separata. Boletim da Biblioteca da Universidade de Coimbra* **42** (1994) 281-298.
- Gessner, S., 'The Vopelius-Schissler connection: transmission of knowledge for the design of celestial globes in the 16th century', *Bulletin of the Scientific Instrument Society* **104** (2010) 32-42.
- Gessner, S., '«Geometricus et astronomicus faber». Chr. Schissler aus Augsburg als Hersteller eines wenig bekannten großen Himmelsglobus (1575)', in *Weiter sehen. Beiträge zur Frühgeschichte des Fernrohrs und zur Wissenschaftsgeschichte Augsburgs*, eds. J. Hamel & M. Korey, Acta Historica Astronomiae, Frankfurt a. M. (2012), 123-154.
- Gessner, S.; Mesquita e Carmo, A., 'Le globe céleste de Schissler: enjeux simultanés d'histoire des sciences et de préservation du patrimoine', in *Proceedings of the International Council of Museums (ICOM), ICOM-CC 16th Triennial Conference, Critério - Produção Gráfica*, Lisboa (2011).

23. Agisoft Metashape (software), <https://www.agisoft.com/> (accessed 2025-05-20).
24. Adobe Photoshop (software), <https://www.adobe.com/products/photoshop.html> (accessed 2025-05-20).
25. CloudCompare (version 2.13 alpha) [GPL software], <http://www.cloudcompare.org/> (accessed 2025-05-20).
26. Matlab 2024a (software), <https://www.mathworks.com/> (accessed 2025-05-20).
27. Toomer, G. J. (trans.), *Ptolemy's Almagest*, Gerald Duckworth, London (1984).
28. Copernicus, N., *De Revolutionibus Orbium Caelestium, Libri VI*, Petreius, Nuremberg (1543).
29. Peters, C. H. F.; Knobel, E. B., *Ptolemy's catalogue of stars: a revision of the Almagest*, Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C. (1915).
30. Dekker, E., 'Conspicuous features on sixteenth century celestial globes', *Der Globusfreund. Wissenschaftliche Zeitschrift für Globen- und Instrumentenkunde* **43-44** (1995) 77-97.
31. ArcGIS online, <https://www.arcgis.com/> (accessed 2025-05-20).

RECEIVED: 2025.6.29

REVISED: 2025.7.1

ACCEPTED: 2026.1.29

ONLINE: 2026.6.3



This work is licensed under the Creative Commons

Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

To view a copy of this license, visit

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>.

El bol de Llanes: primeras aproximaciones sobre sus yacimientos y empleo en el dorado de los retablos españoles

O bolo de Llanes: primeiras aproximações sobre os seus jazigos e o uso no douramento dos retábulos espanhóis

Bol de Llanes: Preliminary approaches to its deposits and use in the gilding of Spanish altarpieces

MIRIAM GARAGORRY
SONIA SANTOS*

Facultad de Bellas Artes de la
Universidad Complutense de
Madrid, Calle Pintor El Greco nº 2,
28040, Madrid, España

*soniasantos@ucm.es

Resumen

El bol de Llanes constituye uno de los materiales que aparece de manera recurrente en la documentación contractual española relativa al dorado de retablos. Era considerada una arcilla especialmente fina y suave, cuyas propiedades contribuían a obtener resultados óptimos en la técnica del dorado al agua bruñido. Diversos tratados artísticos antiguos hacen alusión tanto a su característico color rojo oscuro como a los procedimientos empleados para su purificación y preparación. El presente estudio aporta una recopilación de numerosos retablos en los que se habría empleado este tipo específico de bol. Paralelamente, la investigación desarrollada – que ha combinado trabajo documental con trabajo de campo – ha permitido localizar antiguos yacimientos de tierra roja ubicados en el territorio del Concejo de Llanes. Asimismo, se ha procedido a la toma de muestras en dichos emplazamientos, así como a la elaboración experimental de pellas de bol.

Resumo

O bolo de Llanes é um dos materiais que aparece recorrentemente em contratos espanhóis relacionados com o douramento de retábulos. Era considerado um material especialmente fino, que proporcionava excelentes resultados no processo de douramento a água com brunidura. Diversos tratados artísticos históricos fazem referência à sua cor vermelho-escura, bem como ao seu processo de purificação. O presente estudo oferece uma compilação de um número significativo de retábulos nos quais se acredita que este material tenha sido utilizado. Além disso, a pesquisa realizada, juntamente com o trabalho de campo desenvolvido, permitiu localizar antigos depósitos de barro vermelho na área do município de Llanes, bem como recolher amostras e produzir experimentalmente pastilhas de *bolus*.

Abstract

Bol de Llanes (Llanes bole) is one of the materials that appears recurrently in Spanish contracts related to the gilding of altarpieces. It was considered as an especially fine and smooth clay whose properties contributed to achieving optimal results in the process of burnished water gilding. Several historical artistic treatises refer both to its characteristic dark red color, and to the procedures used for its purification and preparation process. This study presents a compilation of a numerous altarpieces in which this specific material is believed to have been used. Furthermore, the research carried out – combining archival work with fieldwork – has made it possible to locate ancient deposits of red earth in the territory of the Llanes municipality. Samples have been collected from these sites, and experimental preparation of bole pellets has also been carried out.

PALABRAS-CLAVE

Bol de Llanes
Dorado al agua
Yacimientos de tierra roja
Conservación del patrimonio
cultural
Retablos

PALAVRAS-CHAVE

Bolo de Llanes
Douramento a água
Depósitos de argila vermelha
Conservação do património
cultural
Retábulos

KEYWORDS

Bol de Llanes
Water gilding
Red earth deposits
Conservation of cultural
heritage
Altarpieces

Introducción

Algunos materiales artísticos han experimentado cierto reconocimiento a su calidad a lo largo de la historia, avalado a través de un sobrenombre que hace referencia a su lugar de extracción, transformación o comercialización.

Entre los materiales de procedencia española y con referencia a las tierras, pueden citarse, por ejemplo, la de Esquivias, utilizada en la preparación de los lienzos para la pintura sobre lienzo al óleo en nuestro país [1] y, sobre todo, el bol de Llanes, empleado en el proceso del dorado al agua bruñido. La estratificación que, en general, presenta un dorado al agua bruñido es la siguiente: cola, yeso mate, bol, oro y estofado esgrafiado realizado mediante la técnica del temple al huevo (Figura 1).

El trabajo que aquí se presenta constituyen los primeros resultados de una investigación que se está llevando a cabo sobre este bol que presenta denominación de origen y que sería, junto al de Armenia, los más reclamados en los reinos españoles para llevar a cabo el proceso de dorado de retablos junto a, por ejemplo y, en menor medida, los ocre o boles de Córdoba, Tortosa, Flandes, Calamocha, Baldecristo o Arnedillo [2]. De ello informan los contratos para la ejecución de retablos, las ordenanzas de doradores y los tratados artísticos.

Respecto a la denominación “bol de Armenia”, esta terminología se referiría no solo a la tierra procedente de la zona, al este de Turquía, sino de manera general a aquellos boles que también destacaran por su excelencia para el propósito del dorado [3]. Por ejemplo, el tratado de Watin [4], indica que, si bien anteriormente ese bol era llevado a Francia procedente de la zona, después, en su época, todo el que se gastaba ya era francés, aunque aún era denominado como bol oriental o bol de Armenia (“Bol oriental” o “Bol d’Arménie”) [4].

Sin embargo, el bol de Llanes, localidad situada en Asturias, al norte de la península ibérica, procedería de esta zona y su demanda se habría circunscrito únicamente a los reinos españoles.

La línea de investigación que nutre este artículo se ha focalizado en la localización geográfica las explotaciones de arcilla del área de Llanes, lo que ha permitido obtener muestras para elaborarlo de acuerdo a la información recabada en antiguos tratados. Igualmente, el estudio de antigua documentación y contratos ha posibilitado la identificación de numerosos retablos en los que se ha empleado este material, así como establecer unas primeras impresiones sobre el área geográfica donde habría sido utilizado.

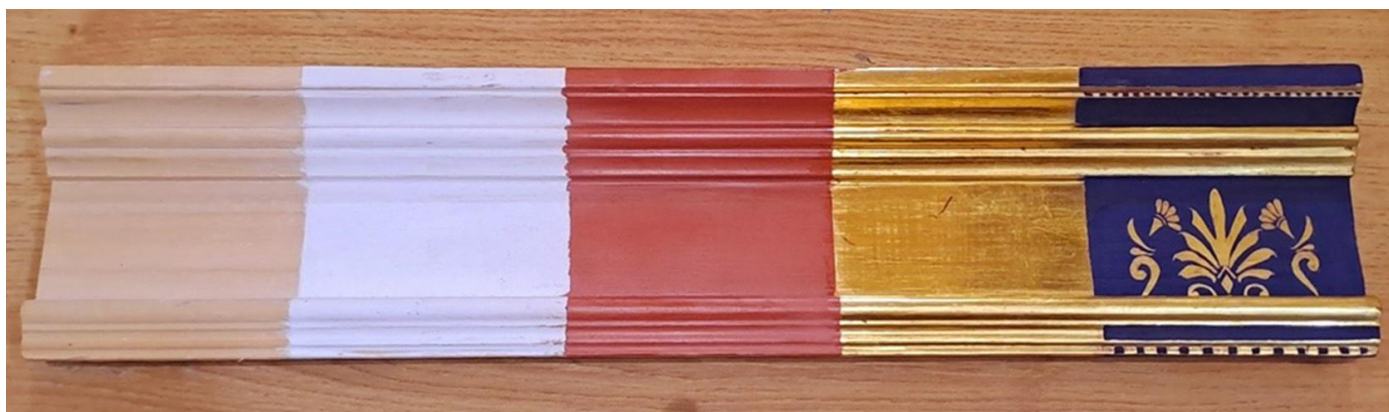


Figura 1. Estratificación habitual de un dorado al agua bruñido y estofado. En este caso, se ha prescindido de la capa de yeso grueso que solía preceder a la de mate (photo: Marta Fernández).

Los boles: qué son

El término “bol” se emplea para designar un material arcilloso utilizado específicamente en el ámbito del dorado, que permite configurar un lecho suave para aplicar encima los sutiles panes de oro.

El bol es una mezcla de minerales arcillosos y no arcillosos. El IGME define las arcillas de la siguiente manera:

El término arcilla se aplica en general a materias naturales de aspecto terroso, constituidas fundamentalmente por silicatos aluminicos hidratados, pertenecientes a los grupos de la caolinita (illita, esmectita y vermiculita), a veces con la aparición de minerales del grupo de la clorita y de impurezas de cuarzo, carbonatos y óxidos diversos, que cristalizan en partículas muy pequeñas, por la fracción arcillosa. Se caracterizan por presentar un comportamiento plástico, en mayor o menor grado, cuando se mezclan con el agua. [5]

Esta última cualidad es la que hace del bol un material idóneo para el dorado al agua, ya que el oro es adherido, normal y sencillamente, mediante la aplicación previa de esta. El agua queda entre las partículas de los minerales arcillosos que constituyen el bol y se irá secando de manera paulatina, permitiendo llevar a cabo el bruñido del oro antes de que seque, aplicando presión con la piedra de ágata. Los minerales arcillosos del bol tienen mayor capacidad de adsorber agua, debido al pequeño tamaño y morfología de las partículas que forman parte de su composición [6], que permiten también configurar un material extremadamente suave, plástico e idóneo para esta labor del dorado al agua bruñido.

La composición de los boles puede ser compleja, ya que se conocen más de 50 minerales arcillosos. El límite superior del tamaño de partícula está en las 4 micras y, por ello, son difíciles de caracterizar [7]. En investigaciones recientes los boles se han estudiado utilizando las siguientes técnicas de análisis: microcopia óptica (MO), microscopia electrónica de barrido (SEM), microscopia electrónica de transmisión (TEM), difracción de rayos X (DRX), espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), y espectroscopía Raman, entre otras, y se ha determinado que las tierras rojas y amarillentas que los constituyen son, básicamente, minerales arcillosos de la familia de los filosilicatos como son caolinita, montmorillonita e illita, asociados a minerales no arcillosos como feldespatos, carbonatos y óxidos de hierro (hematita o goethita), responsables del color rojo o amarillo que presentan [8-10].

En la actualidad, el bol se expende en el comercio en forma de pasta ya molida y purificada que puede presentar muy diversas coloraciones, desde las más habituales, como el amarillo, rojo y negro, como a otros más inusuales, de color verde o azul. El tradicional se vendía en forma de pastilla o pella, es decir, de barro seco (Figura 2). Eugenio Herranz en su tratado *El arte de dorar tallas y madera en general* [11] narra cómo podía ser adquirido entonces en nuestro país.

Respecto al bol de Llanes, desconocemos el aspecto que podría mostrar hace cientos de años, aunque debía presentar un color rojo intenso. Así lo define Francisco Pacheco: “La calidad del Bol de Llanos es casi negro, duro de moler i mui fuerte, i requiere la templa mas flaca.” [12].

Coincide esta descripción con la de Manuel Sáenz y García [13]; de sus palabras se deduce que la explotación de sus yacimientos aún estaría activa hacia esa época en la zona de Llanes: “Bol.- Esta es una tierra mineral que se cría en Llanes (Asturias). Tiene un color rojo oscuro; también lo hay de otras localidades más claro, pero es preferible á todos el de Llanes.” [13],

Este color sería muy valorado para el bol y otros tratados, como el manual de J. Stalker, J. y G. Parker, G, A [14], también lo asignan al mejor bol de Armenia.

Este bol de Llanes, más oscuro, se utiliza en el oro bruñido, seguramente también por su especial suavidad. Sin embargo, algunos documentos hacen referencia en ocasiones otros materiales de base para el oro mate, es decir, para el oro que no va bruñido. Se trata de un bol más claro u ocre, seguramente también más económico.



Figura 2. Cajas de bol de 1 kg, tal y como las describe Eugenio Herranz en su tratado [11]: a-b) bol rojo; c-d) bol amarillo. Se elaboraba en el taller de Vicente Llorens Alfonso. El bol aparece en forma de pellas, envuelto el conjunto en un papel de seda, con la imagen de la Dama de Elche en relieve.

Elaboración y aplicación del bol de acuerdo a los tratados artísticos

Para poder ser utilizado en el proceso del dorado al agua bruñido, el bol era sometido a un proceso de afinamiento mediante su desleimiento en agua, criba y molienda, después de que llegara al taller en forma de masa sólida, como se ha indicado.

Tradicionalmente, las tierras han sido purificadas mediante el sistema de sedimentación, denominado también levigación por parte de algunos autores: el material era desleído en agua, de modo que la parte más pesada, como la sílice o partículas más grandes, se quedan en el fondo, mientras que las arcillas quedarían por encima de estas y sobre éstas, podría también situarse la materia orgánica. También se preparaban mediante un sistema en seco, que suponía dejar secar el barro, y después su molienda y criba. En el siglo XIX esta mayor o menor finura del material también podía ser conseguida mediante la aplicación de una corriente de aire, de modo que el material más fino era aquel que se depositaba más lejos [15].

Desconocemos cómo llegaría el bol a los talleres de los doradores siglos atrás, pero no estaría excesivamente purificado si tenemos en cuenta las indicaciones de los tratadistas, que insistirán en la finura de la molienda [12].

Manuel Sáenz [13] es especialmente explícito e indica que se echaba el material en agua y después se colaba, antes de ser molido muy finamente:

De esta tierra [el bol] la primer operación es escoger la flor y tirar la parte terrosa; se echa en agua hasta desleirlo, y se cuela por un cedazo fino, dejándolo aposar, y luego se va moliendo en la losa muy finamente en pequeñas cantidades, hasta el punto que, restregando un poco entre las yemas de los dedos, no se note el más pequeño granillo al tacto. [13]

Para este autor, en cualquier caso, lo mejor era comprarlo ya preparado en pastillas, en las “tiendas de colores”, ya que lo único que había que hacer era “echarlo en agua clara muy limpia” [13]. Y a mediados del siglo XX, Eugenio Herranz [11] indicaba algo muy similar, y refiere que el bol solo había de ser ablandado en agua antes de su mezcla con la templa (aguacola) para su aplicación sobre el yeso.

Algunos antiguos tratadistas hacen referencia a la recomendación de la mezcla del bol con cuatro materiales que modificaban algunas de sus características, como son su suavidad y color; éstos son lápiz plomo, sanguina, aceite (o sebo) y jabón. El primero de ellos es, sencillamente, grafito, y Pacheco explica que algunos lo echaban para favorecer la suavidad del material y, con ello, el bruñido del oro [12].

Francisco Vicente Orellana [16], que reúne en un mismo volumen el de Genaro Cantelli [17] y la traducción del libro de Boutet, *Traité* [18], también refiere esta adición, pero además describe un interesante y más complejo proceso de molienda, purificación y adecuación del bol antes de ser empleado. En la receta para “hacer la sisa de Oro, y Plata, para dorar de otro modo” indica que el bol era desleído en agua y después molido con grafito, sebo (¿grasa animal?) y agua de jabón, quizás en este último caso como tensoactivo y para facilitar la molienda y unión entre las fases magra y grasa de la mezcla [16].

Otra interesante referencia es la del tratado foráneo de Watin [4], que se refiere a la adición de aceite de oliva, mina de plomo y sanguina al bol. De la esta última dirá que era denominada “crayón rouge” (lápiz rojo) e indica su procedencia de Capadocia (Turquía) o bien de Inglaterra. En algunas investigaciones realizadas sobre el bol se han detectado gruesas partículas de hematita que podrían corresponder a la adición de sanguina para intensificar el color del bol [19].

Otra mezcla que incluiría algún ingrediente más es la de Bernardo Monton [20] que describe su “sissa para oro bruñido” en la que participan: bol, piedra hematites, azarcón (minio), antimonio, sombra, acíbar (áloe) y cola. Por otra parte, Robert Dossie [21] se refiere a la adición de negro de plomo (seguramente grafito), aceite de oliva y cera de abejas y en otra receta se refiere al aporte de sebo.

Y el tratado de Sáenz [13] también prescribía la mezcla del bol con “lápiz plomo” moliendo ambas materias en húmedo, y refería que “los franceses” añadían “aceite ó sebo de cabrito”. Según este autor, estos últimos ingredientes proporcionaban suavidad.

En la elaboración del bol, podrían haber ido cambiando otros aspectos a lo largo de los años, que afectarían a su composición. Así, Eugenio Herranz [11] parece indicar que su color no derivaría de la tierra natural utilizada. Según este autor, habría sido elaborado con una arcilla grisácea, a la que se podían añadir otros componentes que modificarían su color: “Su composición no es muy complicada; es a base de greda, que es una tierra muy suave, pegajosa y agrisada, [...] lo principal de esto es molerlo muy bien, [...] para quitar toda la arenilla que tiene y que nos araña el oro; luego, mezclar los tonos que se quiera para dar color.” [11].

Respecto a la aplicación del bol como base para el dorado, podemos recordar que se mezclaba habitualmente con cola animal, aunque algunos autores refieren también la clara de huevo [22-23]. Habitualmente, es necesario aplicar un número comprendido entre tres-cinco capas [11, 16, 24]. Es frecuente en los textos la recomendación de incrementar la proporción de bol en la cola en las capas subsiguientes.

Metodología

La metodología de trabajo aplicada en esta investigación ha consistido en la realización de una revisión bibliográfica en archivos en los que ha podido hallarse documentación relativa al empleo de bol de Llanes para ejecutar la policromía de retablos en la geografía española, a fin de entender la importancia que tuvo este material en el ámbito del dorado, al menos en territorio español. Debe indicarse, no obstante, que los archivos consultados corresponden al área correspondiente al norte y centro de la península ibérica, por lo que aún queda documentación pendiente por ser examinada según avance la investigación.

Ha sido necesaria, igualmente, la localización del área geográfica de Llanes y comprender su evolución a lo largo de la historia, así como estudiar su geología y yacimientos, tanto a través de la bibliografía, como mediante de su conocimiento *in situ*, a fin de localizar yacimientos de tierra roja.

Se ha llevado a cabo un trabajo de campo que ha permitido la toma de muestras para la elaboración de las pellas de bol de acuerdo a las instrucciones referidas en los antiguos tratados.

Así, todas las muestras fueron secadas, cribadas, decantadas, filtradas y molidas para a continuación modelar las pellas de bol. Para ello, se han puesto en práctica, por tanto, las siguientes fases (Figura 3):

1. Secado de la muestra a temperatura ambiente (Figura 3a);
2. Tamizado básico del material seco: para el tamizado de la muestra se utilizó un colador de 1 mm de poro, aproximadamente, con la finalidad de separar el material de mayor tamaño y los restos de materia vegetal presente (Figura 3b);
3. Purificación por decantación de la muestra tamizada: en un recipiente de vidrio se colocaron 200 g de la muestra tamizada, se agregaron 500 ml de agua, se agitó la mezcla y dejó reposar. Pasados 20 minutos, se eliminó el líquido sobrenadante, donde quedaron suspendidos algunos restos de materia orgánica, y quedó disuelta cualquier sal soluble. Este procedimiento se repitió hasta comprobar que el sobrenadante estaba libre de impurezas sólidas suspendidas (Figura 3c);
4. Tamizado mediante media, aproximadamente con un tamaño de poro de tamiz número 100 (150 μ m) (Figura 3d);
5. Molienda con mortero de ágata y agua corriente (Figura 3e);
6. Una vez seca la muestra, se tomaron 100 g de la misma, se humedecieron con un poco de agua limpia y, de manera manual, se elaboró la pella de bol, sellando cada una de las cinco muestras con una letra correspondiente a su lugar de extracción (Figura 3f).



Figura 3. Fases de purificación de la arcilla de Vidiago hasta convertirla en pella de bol: a) secado a temperatura ambiente; b) criba gruesa; c) purificación en agua; d) tamizado mediante media fina; e) molienda con mortero de ágata; f) elaboración manual de la pella.

Preferencia por el bol de Llanes y demanda en los documentos españoles

Que en nuestro país existía preferencia por el bol de Llanes es un hecho constatable no sólo en las referencias que ya han sido mostradas y correspondientes a los tratados de Francisco Pacheco y Manuel Sáenz y García. Igualmente, se refieren a este bol las *Ordenanzas de doradores de Madrid de 1614* [25, fol. 2-9] donde se indica que “[...] el bol con que se aparexa la dicha obra que es el último material sobre que se a de asentar el oro aya de ser de Llanes y mina de Asturias que es lo más perfecto y donde mejor asienta el oro y más [...] y a falta, de la de Seuilla y no de otra parte [...]” (Figura 4).

Sin duda esta exigencia en la ordenanza deparó que el empleo de este material apareciera en múltiples contratos concertados para ejecutar la policromía de retablos de entre los siglos XVI-XVIII. Será a finales de esa última centuria cuando ya habrá una menor demanda de retablos dorados y, por tanto, de este bol.

La *Tabla 1* muestra una recopilación de retablos en los que se ha corroborado el uso de bol de Llanes, de acuerdo a los contratos para su realización, en ella aparece su respectiva localización, datación, tipo de bol, la documentación donde ha sido encontrado el contrato para su ejecución y el nombre del artífice dorador. Los retablos están ubicados en distintas provincias españolas, lo cual muestra su demanda nacional. La información se ofrece ordenada, desde retablos más antiguos del siglo XVI, hasta otros de finales del siglo XVIII y ha sido recopilada a través de la revisión bibliográfica realizada y la consulta de documentos originales hallados en archivos históricos. Esta muestra se irá ampliando según progrese este estudio en el futuro.

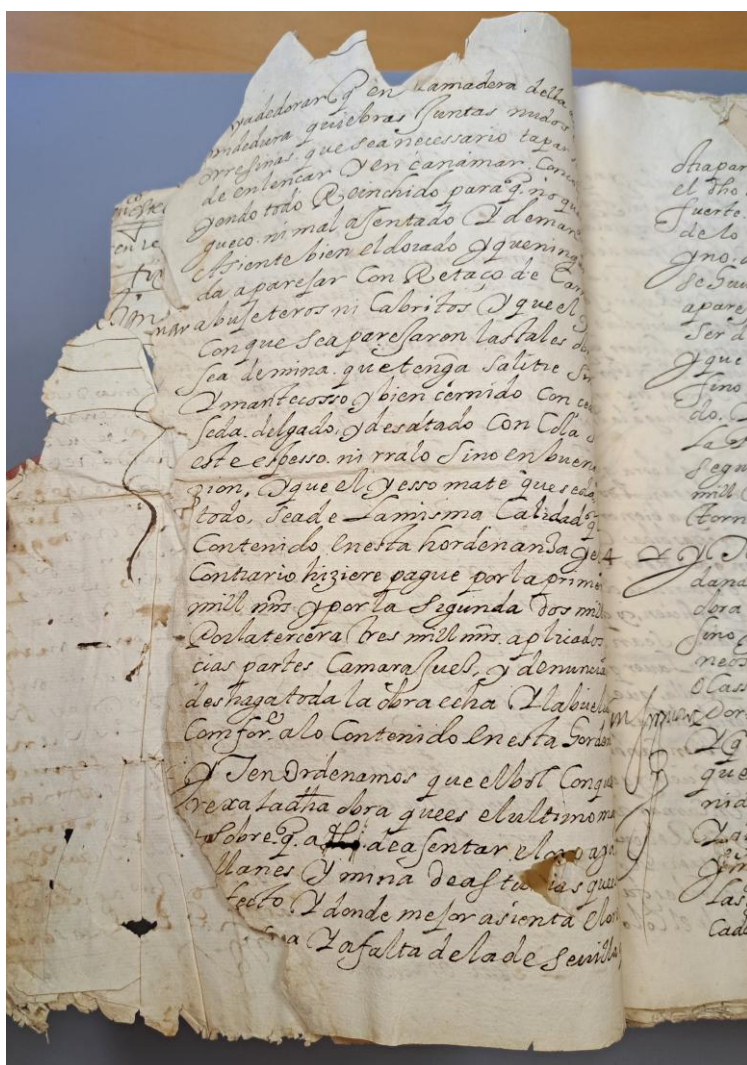


Figura 4. Ordenanzas de Doradores de Madrid de 1614 [25, fol. 2-9].

Tabla 1. Recopilación de retablos en los que se ha corroborado el uso de bol de Llanes, con su respectiva localización, datación, tipo de bol, la documentación donde ha sido encontrado.

Retablo	Localización	Datación	Tipo de bol	Documentación Artifice
1. Retablo mayor de la iglesia de San Eutropio, dedicado a San Eutropio	El Espinar (Segovia)	1574	Bol de Llanes	[26, fols. 24-29] Dorador: Alonso Sánchez Coello
2. Retablo mayor de la iglesia de Santa María de la Asunción, dedicado a la Virgen de la Asunción	Lumbier (Navarra)	1593		[27, fols. 300-302v] Dorador y Estofador: Simón Pérez de Cisneros
3. Retablo mayor de la Iglesia de Santa María, dedicado a la Asunción de María	Villa de Alaejos (Valladolid)	1604		[28, fol. 76v] Dorador y estofador: Francisco Martínez
4. Retablo del Convento de Santo Domingo El Real de Madrid, dedicado a Santo Domingo Guzmán. Desaparecido	Madrid	1613		[29, fols. 133-138] Dorador: Juan Muñoz
5. Retablo de la capilla de San Antonio de Padua. parroquia Santa Cruz de Madrid, dedicado a San Antonio de Padua. Desaparecido		1657		[30, fols. 781-782] Dorador: Martín de Velazco
6. Retablo mayor de la iglesia parroquial Nuestra Señora de la Asunción de la Villa de Tardajos, dedicado a la Virgen de la Asunción	Villa de Tardajos (Burgos)	1699		[31, fol. 100v] Dorador: Lucas de la Concha
7. Retablo mayor. Iglesia del Convento de la Purísima Concepción de las Madres Agustinas Recoletas, dedicado a Ntra. Sra. de la Concepción	Pamplona (Navarra)	1709	Bol de Llanes y de Arnedillo	Contrato de la obra de dorar y pintar el retablo mayor [32] Dorador y estofador: Francisco Aguirre
8. Retablo mayor de la iglesia de San Cornelio y San Cipriano de Mazuelo de Muñó, dedicado a San Cornelio y San Cipriano	Mazuelo de Muñó (Burgos)	1709	Bol de Llanes	[33, fol. 74r] Dorador: Lucas de la Concha
9. Retablo mayor de la iglesia parroquial de Nuestra Señora de la Asunción, dedicado a la Ntra. Sra. de la Asunción	Urdiain (Navarra)	1718		Archivo General de Navarra. Protocolos Notariales, Notaría de Alsasua, Martín Albizu, legajo 49 n.º 33 [34] Dorador y estofador: Joseph de Ordocia
10. Retablo mayor de la iglesia de San Andrés, dedicado a San Andrés	Elciego (Álava)	1729		[35, fols. 93-144] Doradores y estofadores: José de la Fuente y Santa María y Joseph de San Juan
11. Retablo mayor de la iglesia de Santa María de Los Arcos, dedicado a la Virgen María	Villa de Los Arcos (Navarra)	1736		[36, fol. 63] Dorador y estofador: Joseph Antonio Bravo
12. Retablo colateral de la iglesia de Santa María de Los Arcos, dedicado a la Purísima Concepción				
13. Retablo colateral de la iglesia de Santa María de Los Arcos, dedicado a San Juan Bautista				
14. Retablo mayor de la iglesia de Santa Eufemia, dedicado a la Transfiguración de Jesucristo	Autillo de Campos (Palencia)	1740-1741		Archivo de la Catedral de Palencia. Provisor. Expediente de dorado. Retablo Mayor Autillo de Campos, 1740-41 [37] Dorador: Francisco Rodríguez
15. Retablo mayor de la iglesia parroquial Santiago de Calahorra, dedicado a Santiago el Mayor	Calahorra (La Rioja)	1740-1742		Archivo Diocesano de Calahorra. Pleitos Civiles 1742-1745 sig. 22/754-9 fol. 82 r-v. [38] Dorador: Joseph de la Fuente y Santa María
16. Retablo mayor de la iglesia parroquial de San Juan Bautista, dedicado a San Juan Bautista	Hernani (San Sebastián)	1742		[39, fol. 5v] Dorador: Agustín de Conde
17. Retablo mayor de la iglesia parroquial de San Adrián y Santa Natalia, dedicado a San Adrián	Autol (La Rioja)	1745		Archivo Histórico Provincial de La Rioja Sig. P/134/3, fols. 11r-12v, 20 de marzo de 1745, escritura del dorado del retablo mayor. Doradores: Felipe Reoyo y Andrés Carazo [40]
18. Retablo colateral de la iglesia parroquial de San Adrián y Santa Natalia, dedicado a Santiago		1746		
19. Retablo colateral de la iglesia parroquial de San Adrián y Santa Natalia, dedicado a la Inmaculada Concepción				
20. Retablo colateral de la iglesia parroquial de San Adrián y Santa Natalia dedicado al Santo Cristo				

Retablo	Localización	Datación	Tipo de bol	Documentación Artífice
21. Retablo mayor de la iglesia parroquial de la Inmaculada Concepción, dedicado a la Inmaculada Concepción	Villaveta (Burgos)	1753		[41, fol. 47] Dorador: Juan Barrio Soto
22. Retablo mayor de la iglesia de San Julián y Santa Basilia, dedicado a San Julián y Santa Basilia	Ariñez (Álava)	1760	Bol de Llanes y ocre	[42 fols. 424, 424v] Dorador Luis Gómez
23. Retablo mayor de la iglesia del colegio San Francisco de Olite, dedicado a San Antonio de Padua	Olite (Navarra)	1765	Bol de Llanes	[43] Dorador: Andrés de la Vega
24. Retablo mayor de la Basílica de San Gregorio Ostiense, dedicado a San Gregorio Ostiense	Sorlada (Navarra)	1765-1769	Ocre de Calamocha y Bol de Llanes	Pastor Abaigar, Víctor. Fábrica de San Gregorio Ostiense [44] Dorador: Santiago Zuazo
25. Retablo mayor de la iglesia parroquial de San Martín, dedicado a San Martín	Musitu (Álava)	1770	Bol de Llanes y ocre	[45, fol. 44 v] Dorador: Francisco de Acedo
26. Iglesia de la Santa Cruz. Desaparecido	Inguanzo Cabrales (Asturias)	1781	Bol de Llanes	[46 Fols. 105r, 106r] Doradores: Santiago Díez Espinosa y Bentura de Espinosa
27. Retablo mayor del convento de la Victoria, dedicado a la Virgen de la Victoria. Desaparecido	Burgos	1785	Bol de Llanes y ocre de Calamocha	[47, fol. 276] Dorador: Romualdo Pérez Camino
28. Retablo mayor y colaterales de la iglesia parroquial de San Ildefonso. Retablo mayor dedicado a San Ildefonso	Cubillejo del Sitio (Guadalajara)	1789	Bol de Llanes	[48] Dorador: Pedro Domínguez Hernández
29. Retablo de la ermita de San Pedruco, también conocido como Santuario de San Pedro de Sopoyo, dedicado a San Pedro	Ajo (Cantabria)	1792		[49, fol. 149-152] Dorador: Juan Antonio de Láinz



Figura 5. Mapa de localización de los retablos de la Tabla 1, dorados con bol de Llanes y localización de la zona de extracción de las muestras de arcillas.

En el mapa de localización de los retablos (Figura 5) referidos en la Tabla 1, puede apreciarse que los mismos se encuentran ubicados en la mitad norte de la península ibérica y, en la mayoría de los casos, próximos a la zona de extracción de las arcillas.

Llanes: antiguos yacimientos de tierra roja y su comercialización

Primeramente, conviene acotar geográficamente el área de Llanes, en la actualidad y con cierta perspectiva histórica. El Principado de Asturias ha estado y está organizado en ocho tradicionales divisiones comarcales o comarcas, integradas por municipios que presentan características geográficas, históricas y socioeconómicas comunes y que reciben la denominación tradicional de concejos. Existen 78 concejos en Asturias. Los concejos se organizan en parroquias, que, a su vez, pueden agrupar varias poblaciones.

La Comarca del Oriente de Asturias corresponde a la zona situada al este del Principado. Dicho área está conformado por trece municipios o concejos: Llanes, Cangas de Onís, Onís, Caravia, Ribadesella, Ribadedeva, Peñamellera Alta, Peñamellera Baja, Cabrales, Amieva, Ponga, Piloña y Parres.

El Concejo de Llanes comprende a su vez 28 parroquias y 104 pueblos (Figura 6). Una de las parroquias presenta denominación homónima (Llanes) donde se sitúa también la actual Villa de Llanes. Las zonas de extracción donde están ubicadas las antiguas explotaciones de arcillas donde fueron tomadas las muestras con las que se han elaborado las pellas de bol en esta investigación pertenecen al Concejo de Llanes (Vega de la Dueña, El Bolao, Vidiago, El Recuenco), excepto la muestra procedente del pueblo de Labra, población situada en el Concejo de Cangas de Onís, también dentro de la Comarca del Oriente de Asturias, que limita con la vecina parroquia de Nueva, del Concejo de Llanes.

Existe extensa bibliografía y vestigios que corroboran que el hombre hizo uso de las tierras rojas en las cuevas del Oriente de Asturias, seguramente extraídas de zonas próximas a las mismas. Entre estas cuevas pueden citarse: El Pindal, Llonín, La Covaciella y Tito Bustillo, las cuales presentan pinturas rupestres realizadas con tierras rojas [50]. Puede mencionarse también el ídolo de “Peña Tú”, ubicado en la población de Puertas de Vidiago, localidad situada a 8 km de la Villa de Llanes y perteneciente al Concejo de Llanes, que también fue pintado con este material [51]. A muy pocos metros del mismo, se encuentra la explotación de la antigua mina de hierro de Vidiago, donde aflora un material arcilloso de color rojo intenso que pudo haber sido empleado para la realización de esas pinturas [51].

También se han hallado gran cantidad de piezas cerámicas en 53 cuevas de la zona, en yacimientos correspondientes a una dilatada cronología que abarca desde el Neolítico hasta la época moderna [52]. Por otra parte, los campesinos del concejo de Llanes emplearon las arcillas para conformar tejas y ladrillos hasta mediados del siglo XX y el Catastro del Marqués de la Ensenada, del siglo XVIII, censa en Llanes seis parroquias relacionadas con la explotación de arcilla para este fin [53].

Por tanto, se puede decir que la presencia de estas manifestaciones artísticas y utilitarias realizadas con arcilla en la zona de Llanes corroboran que el material abundaba en esa zona y era de sencillo acceso.



Figura 6. Mapa con la ubicación de los lugares donde fueron recolectadas las muestras de arcillas: a) del Prinipado de Asturias; b) concejo de Llanes y sus parroquias.

Rutas de comercialización de las tierras rojas desde el oriente de Asturias

Ya en el siglo XV Llanes fue un importante enclave económico que celebraba un mercado público semanal en la villa todos los jueves del año y dos ferias anuales que tenían lugar el día de San Juan, en junio, y el de San Miguel, en septiembre, de los cuales se tiene referencia desde 1441 [54]. Muchos productos eran vendidos después en las ferias castellanas y otros lugares del reino [55].

En el siglo XVI, los productos eran llevados desde Asturias por arrieros a través del Camino Real del Oriente y por las sendas que bordeaban los Picos de Europa. Con el uso de carretas y mulas de carga, transportaban mercancías desde y hacia la Meseta [56]. Además, entre los siglos X-XVIII la actividad pesquera del puerto de Llanes fue muy importante. A través de dicho puerto se producía el intercambio de mercancías con Andalucía, Francia, Inglaterra, Flandes e Irlanda [54-55]. La ruta jacobea que conducía a Santiago también estuvo vinculada a su actividad económica.

Otro ejemplo de este importante comercio fue el de los monjes Benedictinos del Monasterio San Pedro de Villanueva en Cangas de Onís, propietarios de la almagrera de Labra, explotada para comercializar el almagre, o tierra roja natural [57].

El hecho de que la arcilla o almagre fuera transportado hacia la Meseta por el Camino Real dio origen a que ese camino fuera denominado *Camín del Almagre* [56]. En el siglo XVII esta ruta tomó el nombre de *Senda del Arcediano*, en honor a don Pedro Díaz de Oseja (1583-1655). Este personaje, reconociendo la importancia que tenía esa vía de comunicación para la comercialización de productos entre el Oriente de Asturias y la Meseta (Figura 7), destinó importantes sumas de dinero de su propia fortuna al acondicionamiento de la misma, con la finalidad de mejorar el tránsito de los comerciantes que la utilizaban [58].



Figura 7. Mapa de localización de las poblaciones por las cuales discurría la ruta que unía Asturias con la Meseta.

Actualmente, se conservan tramos de la senda, aunque gran parte se ha perdido. La noticia más antigua de dicho comercio tiene relación con Sajambre y se refiere a 1615 y dirá al respecto:

La arcilla se transportaba a lomos de rocines desde la localidad asturiana hasta Soto de Sajambre, lugar en la que existió una cierta organización e infraestructura, donde se pesaba el cargamento que llegaba de Asturias. [...] Su destino fue Segovia, [...] pero también las tierras palentinas, Burgos y Ávila, llegando con sus carros hasta Hoyocasero, en los confines de la provincia y en las estribaciones de la Sierra de Gredos [56].

Geología del Oriente de Asturias en torno al almagre

La Comarca del Oriente de Asturias se encuentra dentro de la configuración geológica denominada Zona Cantábrica y los materiales que constituyen su subsuelo comprenden una extensa serie estratigráfica: Paleozoica (541-252 millones de años), Mesozoica (252-66 millones de años) y, en menor proporción, Cenozoica (65 millones de años) [59].

El paisaje tan variado que presenta Asturias está definido por el tipo de rocas que conforman su subsuelo, el cual está constituido en su mayor parte por rocas sedimentarias, con alguna presencia de rocas metamórficas y una pequeña representación de rocas ígneas.

La configuración geológica del territorio que ocupaban las “Tierras Primorias” (entre el río Sella, el río Deva, los Picos de Europa y la costa Cantábrica) se describe en las Hojas 32 y 31 correspondientes a los mapas geológicos del IGME de Llanes y Ribadesella [60-61]. Geológicamente, pertenece al denominado Manto de Ponga, y los materiales que afloran en ese sector reciben el nombre de Unidad Ponga-Cuera. En esa Unidad discurren de este a oeste, paralelas al litoral y muy cercanas a la costa, las Sierra Plana de la Borbolla y la Sierra del Cuera, donde destacan litológicamente las calizas de montaña, pertenecientes a la edad del carbonífero medio-inferior, así como acumulaciones de arcillas pertenecientes al período Cretácico de la era Mesozoica.

Históricamente, en los depósitos de “rasa”, es decir, aquellos que se han producido a partir de la erosión de las montañas cercanas a la costa, es donde se ha concentrado el mayor número de explotaciones de arcillas. Las rasas constituyen superficies planas cuya altura, en el caso de Llanes, va de los 145 a los 155 metros y se sitúan entre el borde de los acantilados y las estribaciones montañosas de la Sierra del Cuera.

Martínez Álvarez describe la localización de las arcillas rojas características de esta zona de la siguiente manera:

En la región de Llanes destaca con toda claridad el contraste morfológico entre las elevaciones de la Sierra del Cuera y el litoral, con sus características zonas planas, conocidas con la doble denominación de “rasas” y “sierras planas”. [...] entre las rasas costeras de Cué al norte y de La Borbolla al sur, se encuentran arcillas de color rojizo pardusco en general. En ciertas zonas tienen un color rojo más intenso encontrándose entonces pequeños nódulos y concreciones, a veces de notable desarrollo, de oligisto y limonita. La estratificación de los depósitos arcillosos es muy variada. El contacto con la caliza es neto y por tanto bien perceptible y diferenciable” [62]

Es importante destacar el notable desarrollo del paisaje kárstico, es decir, aquel constituido por rocas calcáreas que han sido sometidas a procesos de disolución por efecto de aguas ácidas, formando oquedades donde se han acumulado sedimentos arcillosos de tonalidad rojiza, estos depósitos son conocidos como “bolsadas”. Estas formaciones son particularmente frecuentes en la ladera sur de la Sierra del Cuera, en el término municipal de Peñamellera Alta, concejo limítrofe con el de Llanes.

Yacimientos de arcillas en el área objeto de estudio y recolección de muestras

Con la finalidad de recolectar muestras del material arcilloso, se realizó un trabajo de campo que consistió en visitar antiguas explotaciones de arcilla ubicadas en el área de estudio, es decir el territorio que ocupa el Concejo de Llanes esas fueron: Vega de la Dueña, El Bolao, Vidiago y El Recuencu, así como la del pueblo limítrofe de Labra. El criterio para seleccionar los lugares de recolección se basó en la información obtenida en la bibliografía acerca de la geología de la Unidad Ponga-Cuera, lo que facilitó la ubicación de las explotaciones.

En publicación del IGME [5] se identifican 201 explotaciones de arcillas en Asturias, de las cuales, 67 en algún momento fueron explotadas y hoy en día se encuentran abandonadas y con distinto grado de restauración. Cuatro de esas antiguas explotaciones se encuentran en el Concejo de Llanes, a saber: Vega de la Dueña, Llano de Los Carriles, Allende el Rio y Los Llanos. Todas pertenecen a la franja cretácica y cuando estuvieron activas, las arcillas extraídas fueron utilizadas por los tejeros en la elaboración de tejas y ladrillos. Todas las explotaciones fueron visitadas, pero sólo se tuvo acceso a la explotación Vega de la Dueña, situada en el Valle de Ardisana, junto a la carretera LLN-15. Allí se tomó la muestra N° 1, el día 13 de abril de 2024. El material recolectado corresponde a una arcilla de tonalidad amarillenta, obtenida en una ladera que se utilizaba como fuente de extracción (Figura 8a-b). Actualmente, la explotación ha sido restaurada y sus terrenos se destinan a actividades de ganadería ovina. El resto de las explotaciones: Llano de Los Carriles, Allende el Rio y Los Llanos han sido restauradas y no quedan vestigios de los trabajos de extracción.

En otra publicación del Instituto Geológico de España (IGE) [63] y en la investigación llevada a cabo por J. M. Trespando [64] se hace referencia a la existencia de la antigua almagrera de Labra, ubicada en la ería de Nobal o Noval, en el pueblo de Labra, o Llabra en asturiano, limítrofe con la parroquia de Nueva del Concejo de Llanes. El acceso se hizo por la carretera AS-340 y no se encontraron vestigios visibles de la antigua explotación, ya que el terreno ha sido objeto de restauración y actualmente está constituido por un prado cubierto de vegetación herbácea de propiedad privada; sin embargo, se pudo extraer una muestra de almagre de color rojo intenso, realizando una excavación manual a una profundidad aproximada de 30 cm en una de las laderas del terreno (Figura 9a-b). La muestra N° 2 fue recolectada el 1 de abril de 2024.

La publicación anterior [63] también se refiere a la antigua mina El Recuencu, localizada en la falda sur de la Sierra del Cuera en Peñamellera Alta a 2,5 km de la localidad de Ruenes, conocida como la “capital del Cuera”. El acceso al lugar se efectuó en coche por la carretera AS-345, continuando posteriormente andando, por la ladera sur de la Sierra del Cuera, hasta una altitud aproximada de 400 metros sobre el nivel del mar. La Sierra del Cuera se caracteriza por la presencia de “bolsadas” de arcillas rojizas, como se ha indicado; estos yacimientos fueron explotados por Minas del Cuera S.A. y su actividad, aunque con notables interrupciones, llegó hasta 1970. Allí se tomó la muestra N° 3 el día 24 de octubre de 2024, consistente en una arcilla de color rojo intenso (Figura 9c-d). A pocos metros de esta mina se encuentran las de La Edreda y Cerezu, que presentan las mismas características geológicas [65].

En otro trabajo de investigación del IGE [63] se alude a la existencia de la antigua mina de hierro de Vidiago en la Sierra Plana de La Borbolla, donde también aflora material arcilloso. La muestra N° 4 fue recolectada el 26 de octubre de 2024 en los vestigios de la antigua mina de Vidiago, también en el Concejo de Llanes, con acceso por la carretera N-634. En la actualidad, la zona ha sido objeto de restauración mediante la plantación de un bosque de eucaliptos; no obstante, en la fecha de la visita, los árboles habían sido recientemente talados, lo que permitió la observación directa del talud de la antigua explotación minera donde quedaron expuestas vetas de un material arcilloso (Figura 9e-f). Este presenta una notable plasticidad, característica que sugiere un alto contenido en finos y una posible utilidad en aplicaciones cerámicas o constructivas, lo cual será objeto de análisis en etapas posteriores del estudio. Esta mina está muy cercana al monumento Ídolo de Peña Tú [51].

En publicación de la empresa Selva Asturiana [66] se hace referencia a la antigua Mina de hierro El Bolao, también conocida como “Pozu la Mina”, a la cual se accedió por la carretera LLN-6. En el texto se indica que en el año 1952 se solicitó permiso ante el Distrito Minero de Oviedo para reanudar la explotación de la antigua mina de hierro a cielo abierto en el paraje de Bolao y pueblo de Soberrón. Posteriormente, la mina fue abandonada e inundada. Tras realizar la visita, se pudo constatar que existe una veta de arcilla rojiza en dicha zona, coincidente con la entrada de la cueva de Las Herrerías (Figura 9g-h). Es importante señalar que la cueva de las Herrerías contiene manifestaciones de arte rupestre, lo que sugiere la posibilidad de que los pigmentos utilizados en las pinturas pudieran haber sido elaborados a partir de arcillas extraídas en las inmediaciones de la cueva. La toma de muestra se realizó el día 18 de abril de 2025.



Figura 8. Arcillas amarillentas. Antigua explotación de arcilla de Vega de La Dueña (Ardisana) en la que se aprecia la tonalidad amarillenta del material recolectado: a) detalle del lugar de extracción; b) el proceso de recolección de muestras.

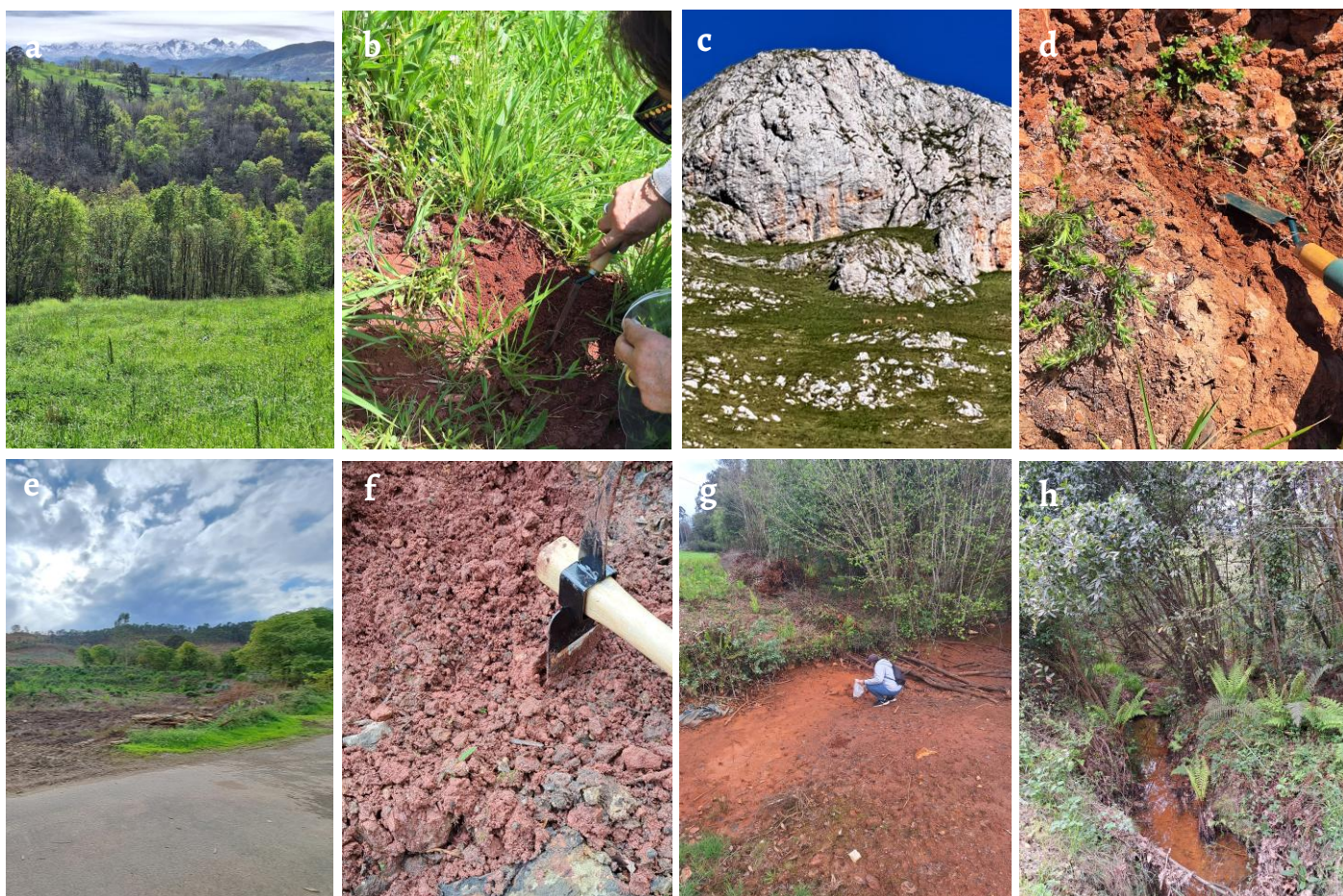


Figura 9. Arcillas rojas, detalle del lugar de extracción y el proceso de recolección de muestras: *a-b*) antigua almagrera de Labra; *c-d*) antigua mina de Recuencu; *e-f*) yacimiento de Vidiago (Llanes); *g-h*) yacimiento de El Bolao.

Resultados obtenidos: obtención de las pellas de bol

Tras llevar a cabo el tratamiento de purificación y molienda de las muestras tomadas directamente del terreno, se llevó a cabo la elaboración de pellas de bol siguiendo las recetas que figuraban en los antiguos tratados (Figura 10). Como se indicó en el apartado “Metodología”, el tratamiento de las muestras ha supuesto su secado, cribado, decantación, filtración y molienda, así como su manipulación para configurar las pellas. Estas se han dejado secar a temperatura ambiente antes de documentar su aspecto fotográficamente.

Las pellas de bol presentan los colores característicos de las tierras empleadas en la labor del dorado (Figura 10), no obstante, de acuerdo a lo que indican los antiguos tratados, el bol de Llanes presentaría un color pardo oscuro, con lo que seguramente solo se empleaban para elaborarlo las tierras más oscuras. Por ello, la muestra extraída de Ardisana (Figura 10a) debería ser descartada.

En contrapartida, se observa que los boles de Labra, Recuencu y Vidiago (Figura 10b-d) presentan un característico tono rojo oscuro, seguramente muy similar al que pudieron presentar los boles de Llanes antiguos. Especialmente suave al tacto ha resultado el bol correspondiente a la zona de Vidiago (Figura 10d).

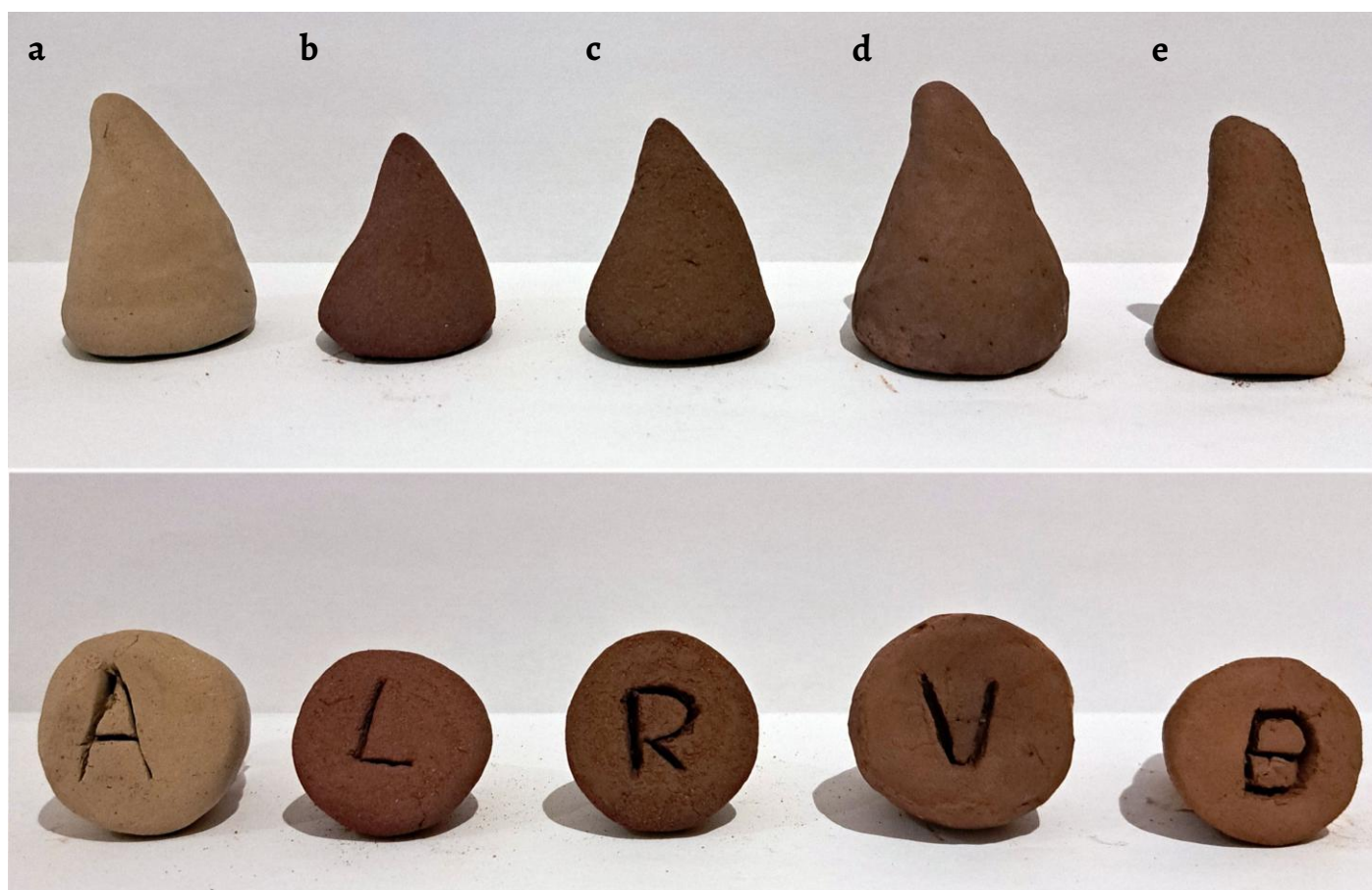


Figura 10. Pellas de bole realizadas manualmente: a) Vega de la Dueña (Ardisana); b) Labra; c) Recuencu; d) Vidiago; e) Bolao.

Conclusiones

Este estudio ha servido para identificar un gran número de retablos en los que, de acuerdo a la documentación obtenida, se habría empleado este bol de Llanes para llevar a cabo el dorado de los mismos. El área de empleo es muy amplia, lo que confirma la importancia de este material en el proceso del dorado al agua bruñido. Posiblemente, en la difusión de su empleo contribuyera la prescripción de su empleo en las *Ordenanzas de doradores de Madrid de 1614*, así como en uno de los tratados más importantes en lengua española, como es el tratado de Francisco Pacheco.

Por otra parte, la revisión histórica también ha servido para poner de manifiesto que existió toda una ruta de comercialización del almagre que recorría la península ibérica y que distribuyó el material hacia la zona de la Meseta.

La realización del estudio documental, así como la labor de campo desarrollada, han permitido hallar distintos yacimientos de arcillas en Asturias y, en concreto en el área del Concejo de Llanes. La documentación bibliográfica recopilada ha servido para poner de manifiesto que el área del Concejo de Llanes constituye en realidad una zona geográfica en la que abundan las tierras de color rojizo.

Esta localización ha posibilitado la toma de muestras sobre el terreno, a fin de preparar pellas de bol. Se ha constatado que tres de las muestras tomadas, en Labra, Recuencu y Vidiago, podrían corresponder a las características que presenta el bol de Llanes antiguo, descrito por los antiguos tratadistas y que destacaba por su tonalidad oscura, gran suavidad y plasticidad.

Como línea de investigación para un futuro próximo, se plantea determinar la composición exacta de estos boles y compararla con la que puedan presentar los boles de Llanes antiguos. Además, se ampliará la revisión de otros archivos de modo que puedan identificarse más retablos donde se haya empleado este material que, por el momento se sitúa con mayor

abundancia en la zona nororiental de la península ibérica. Por otra parte, se plantea también la utilización de estos boles en los procesos de dorado y constatar su eficacia e idoneidad para esta labor.

Agradecimientos

Archivo Histórico Nacional de España, Archivo Histórico de Protocolos de Madrid, Archivo Histórico de la Real Biblioteca del Monasterio del Escorial, Museo Arqueológico Nacional, Instituto de Estudios Madrileños, Archivo de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Archivo del Palacio Real de Madrid, Archivo Histórico Diocesano de Madrid, Archivo Diocesano de Burgos, Archivo Histórico Provincial de Burgos, Archivo Histórico Provincial de Guipúzcoa, Archivo Histórico del Convento del Convento de la Madres Agustinas Recoletas de Pamplona, Archivo de la Catedral de Pamplona, Archivo Histórico Provincial de Valladolid, Archivo Histórico Provincial de Zamora, Archivo General de Navarra, Archivo Histórico de Protocolos de Álava, Archivo Histórico de Protocolos de La Rioja, Archivo Diocesano de la Catedral de Sigüenza, Archivo Histórico Provincial de Zaragoza, Instituto de Estudios Asturianos, Archivo Histórico de Asturias, Archivo Histórico del Ayuntamiento de Llanes Asturias, Biblioteca UCM.

REFERENCIAS

1. Palomino de Castro y Velasco, A., *El museo pictórico y escala óptica: práctica de la pintura*, vol. 2, Aguilar, Madrid (1988, primera edición 1715).
2. Bartolomé García, F. R., 'Terminología básica de técnicas y materiales de la policromía', *Akobe: restauración y conservación de bienes culturales = ondasunen artapen eta berriztapena* **5** (2004) 12-19, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2859493> (acceso en 2023-04-07).
3. Hradil, D.; Hradilová, J.; Bezdička, P.; Serendan, C., 'Late Gothic/early Renaissance gilding technology and the traditional poliment material "Armenian bole": truly red clay, or rather bauxite?', *Applied Clay Science* **135** (2017) 271-281, <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.10.004>.
4. Watin, J. F., *L'art du peintre, doreur, vernisseur; ouvrage utile aux artistes et aux amateurs qui veulent entreprendre de peindre, dorer et vernir toutes sortes de sujets en bâtimens, meubles, bijoux, equipages, etc...* par le sieur Watin, 2.^a ed., Granger & Durand, Paris (1773), <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k841821> (acceso en 2026-02-21).
5. Fernández Suarez, J.; Núñez Ortega, C.; Baltuille Martín, J.M., López López M., *Mapa de Rocas y Minerales industriales de Asturias*, Instituto Geológico y Minero de España, Asturias (2012).
6. Fernandez Navarro, J. M., 'Plasticidad de las arcillas', *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* **1**(7) (1962) 449-472.
7. Grim, R. E., *Clay mineralogy*, 2^a ed., McGraw-Hill, New York (1968).
8. Hasbach, B.; Gómez Espinosa, T., 'Dorados marmolados en policromías de retablos rococós', *Ge-Conservación* **12** (2017) 80-88, <https://doi.org/10.37558/gec.v12i0.558>.
9. Llamas, R.; Santos, A. I., 'Estudio técnico y estado de conservación del retablo mayor de la parroquia de Nuestra Señora de los Olmos en la Torre de Juan Abad', *Conservar Patrimonio* **17** (2013) 39-58, <https://doi.org/10.14568/cp2012007>.
10. Refaat, F.; Mahmoud, H. M.; Brania, A. A., 'Analytical characterization of rococo paintings in Egypt: preliminary results from El-Gawhara Palace at Cairo', *International Journal of Conservation Science* **3**(4) (2012) 265-274.
11. Herranz García, E., *El arte de dorar tallas y madera en general*, El autor, Madrid (1959).
12. Pacheco, F., *Arte de la pintura, su antigüedad y grandezas: descriuense los hombres eminentes que ha auido en ella, assi antiguos como modernos ... y enseña el modo de pintar todas las pinturas sagradas*, Simon Faxardo, Sevilla (1649), <http://archive.org/details/HARteRo3To9> (acceso en 2024-09-16).
13. Sáenz y García, M., *Manual teórico-práctico del pintor, dorados y charolista*, Librería De Cuesta, Madrid (1872).
14. Stalker, J.; Parker, G., *A treatise of japaning and varnishing, being a compleat discovery of those arts. With the best way of making all sorts of varnish for Japan, wood, prints or pictures. The method of gilding, burnishing, and lackering, with the art of gilding, separating, and refining metals, and of painning mezzotinto-prints. Also rules for counterfeiting tortoise-shell, and marble, and for staining or dying wood, ivory, and horn. Together with above an hundred distinct patterns for Japan-work, in imitation of the Indians, for tables, stands, frames, cabinets, boxes, &c.*, Printed by the authors, Oxford (1688), <https://search.proquest.com/docview/2264207717> (acceso en 2026-02-09).
15. Coffignier, C., *Manual del pintor. Colores y barnices*, Salvat, Barcelona (1924).
16. Vicente Orellana, F., *Tratado de barnices y charoles*, Imprenta de Joseph García, Valencia (1755).
17. Cantelli, G., *Tratado de barnices y charoles: en que se da el modo de componer uno perfectamente, parecido al de la China, y muchos otros, que sirven à la pintura, al dorar, y abrir con otras curiosidades añadido en esta última impresión*, Joseph Estevan Dolz, Valencia (1735), <https://patrimonioidigital.ucm.es/s/patrimonio/item/602522> (acceso en 2026-02-09).
18. Boutet, C., *Ecole de la mignature: dans laquelle on peut aisément apprendre à peindre sans maitre. Avec le secret de faire les plus belles couleurs; l'or bruni & l'or en coquille*, Chez François Du Chesne, A Lyon (1679), <http://catalog.hathitrust.org/api/volumes/oclc/13175507.html> (acceso en 2026-02-09).
19. Hradil, D.; Grygar, T.; Hradilová, J.; Bezdička, P., 'Clay and iron oxide pigments in the history of painting', *Applied Clay Science* **22**(5) (2003) 223-236, [https://doi.org/10.1016/S0169-1317\(03\)00076-0](https://doi.org/10.1016/S0169-1317(03)00076-0).
20. Monton, B., *Secretos de artes liberales, y mecanicas, recopilados, y traducidos de varios, y selectos autores, que tratan de phisica, pintura, arquitectura, optica, chimica, doradura, y charoles, con otras varias curiosidades ingeniosas*, Oficina de Antonio Marín, Madrid (1734), <http://catalog.hathitrust.org/api/volumes/oclc/16668309.html> (acceso en 2024-04-22).
21. Dossie, R., *The handmaid to the arts*, 2.^a ed., J. Nourse, London (1764), <https://catalog.hathitrust.org/api/volumes/oclc/3291345.html> (acceso en 2026-02-09).
22. Muro Orejón, A., *Documentos para la historia del arte en Andalucía. [Pintores y doradores]*, vol. 8, Universidad de Sevilla, Facultad de Filosofía y Letras, Laboratorio de Arte, Sevilla (1935).

23. Cennini, C., *El libro del arte*, Akal, Torrejón de Ardoz, Madrid (1988).
24. Santos, S., *Las preparaciones de yeso en la pintura sobre tabla de la Escuela Española*, Disertación de doctorado, Departamento de pintura, Universidad Complutense de Madrid, Madrid (2005).
25. *Ordenanza de doradores de Madrid*, ms., Archivo Histórico Nacional, Consejos. Leg. 24783 (1614).
26. *Contrato para dorar pintar y estofar el retablo mayor de la iglesia de San Eutropio*, ms., Archivo Histórico Provincial de Segovia, Sección Protocolos núm. 180 (1574).
27. *Contrato para dorar el Retablo Mayor de la Iglesia de Santa María de la Asunción de Lumbier*, ms., Archivo de la Catedral de Pamplona, Secretario Garro, Proceso de Lumbier cj. 622-2 (1593).
28. *Contrato para dorar pintar y estofar el Retablo Mayor dedicado a la Asunción de María. en la Iglesia de Santa María La Mayor de la Villa de Alaejos Valladolid*, ms., Archivo de Protocolos de Valladolid, Legajo 13777 (1604).
29. *Concierto y condiciones con Juan Muñoz para el dorado y estofado del retablo del Convento de Santo Domingo El Real de Madrid*, Archivo Histórico de Protocolos de Madrid, Protocolo: 2452 (30 de diciembre 1613).
30. *Contrato del dorado del Retablo de la Capilla de San Antonio de Padua de la Parroquia Santa Cruz de Madrid*, ms., Archivo Histórico de Protocolos de Madrid, 7272 (1657).
31. *Contrato para el dorado del retablo mayor de la Iglesia Parroquial Nuestra Señora de la Asunción de la Villa de Tardajos*, ms., Archivo Histórico Provincial de Burgos, PN 8623-2 (1699).
32. *Condiciones para dorar y estofar el retablo mayor, dedicado a Nuestra Señora de la Concepción, de la iglesia del Convento. Pamplona*, ms., Archivo del Convento de las Madres Agustinas Recoletas de Pamplona (1709).
33. *Condiciones para dorar y estofar el retablo mayor de la Iglesia de San Cornelio y San Cipriano de Mazuelo de Muñó (Burgos)*, ms., Archivo Histórico Provincial de Burgos, PN 8550-1 (1709).
34. Carasatorre, R., 'Urdiain: obras en la iglesia propia del pueblo de 1768 a 1786', in *Textos Históricos Navarros* (18 de enero de 2014), <https://documentanavarra.blogspot.com/2014/01/urdiain-obras-en-la-iglesia-propia-del.html> (acceso en 2026-02-09).
35. *Contrato para el dorado del retablo mayor de la iglesia de San Andrés de Elciego, Álava*, ms., Archivo Histórico Provincial de Álava, Joseph Ramírez, 8275 (1726).
36. *Contrato para para dorar el retablo mayor y dos colaterales de la iglesia Virgen de Los Arcos. Los Arcos, Navarra*, ms., Archivo General de Navarra. Protocolos, Protocolo Jalón y Ayala Pedro (1736).
37. Santiago de Castro, M., 'La obra del arquitecto, escultor y tallista Pedro Bahamonde en Palencia', *Publicaciones de la Institución Tello Téllez de Meneses* **89** (2018) 215-263.
38. Mateos Gil, A. J., 'El pleito por las pinturas de la capilla mayor de la parroquia de Santiago el Real de Calahorra', *Kalakorikos: Revista para el estudio, defensa, protección y divulgación del patrimonio histórico, artístico y cultural de Calahorra y su entorno* **26** (2021) 81-115, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8198475> (acceso en 2024-01-18).
39. *Escritura de concierto con Agustín de Conde sobre la doradura del retablo mayor de la parroquia de esta villa y obligación para su ejecución. Notario: Miguel Antonio de Ugalde. Hernani, San Sebastián*, ms., Archivo Histórico Provincial de Guipúzcoa, SS.P. 1355 (1742).
40. Mateos, A. J., *La Iglesia Parroquial de San Adrián y Santa Natalia de Autol (La Rioja). Informe para su declaración como bien Regional de interés cultural*. Instituto de Estudios Riojanos, La Rioja (2019).
41. *Condiciones para el dorado del retablo mayor de Villaveta, Burgos*, ms., Archivo Histórico Provincial de Burgos, Protocolo Notarial Gabriel Yudego, Leg 10313 (1753).
42. *Condiciones para el dorado del retablo mayor de la iglesia de San Julián y Santa Basilisa. Ariñez, Álava*, ms., Archivo Histórico Provincial de Álava, P. N. Andrés de Lezama 1308 (1760).
43. *Condiciones para el dorado del retablo mayor dedicado a San Antonio de Padua. Iglesia del Colegio San Francisco de Olite, Navarra*, ms., Archivo General de Navarra, Pro. Not. Sebastián Arriaga N° 79. 1765. Olite (1765).
44. Pastor, V., *Fabrica de San Gregorio Ostiense*, Ulzama Ediciones, España (2015).
45. *Condiciones para el dorado del retablo mayor de la iglesia Parroquial de San Martin. Musitu, Álava*, ms., Archivo Histórico Provincial de Álava, Prot. Not. José Antonio Ruiz de Alda sig. 1477 (1770).
46. *Condiciones para dorar el retablo mayor de la iglesia de la Santa Cruz de Inguanzo, Asturias*, ms., Archivo Histórico Municipal de Llanes, Protocolo Notarial Juan Bueno Parás, sig. 167 (1781).
47. *Condiciones para el dorado del retablo mayor del convento de la Victoria de Burgos*, ms., Archivo Histórico Provincial de Burgos, Protocolo Notarial Alonso de Melo, Leg. 7220. 9-VI-1785 (1785).
48. *Condiciones para dorar el retablo mayor y colaterales de la Parroquia de San Ildefonso. Cubillejo del Sitio. Guadalajara*, ms., Archivo Diocesano, Catedral de Sigüenza, Sección órganos, retablos y arte suntuario, ref. 1789-09 (1789).
49. *Contrato para el dorado del retablo mayor de la Ermita de San Pedruco (Santuario de San Pedro de Sopoyo). Ajo, Cantabria*, ms., Archivo Histórico Diocesano de Cantabria. Francisco de Villanueva y Carrié, Sig. 5157, Vol. IV. II. B6 (1792).
50. Blas Cortina, M. Á. de, *Cuevas prehistóricas de Asturias: arte rupestre paleolítico*, 1ª ed., Trea, Gijón (1996).
51. Hernández-Pacheco, E.; Cabré Aguiló, J.; Vega del Sella, R., *Las pinturas prehistóricas de Peña Tú*, Artes Gráficas «Mateu», Madrid (1914).
52. Muñoz Fernández, E.; Fanjul Peraza, A.; Ceballos Hornero, A.; Pérez Bartolomé, M.; Juaneda Gavelas, A., 'Las cerámicas en las cavidades de la zona costera oriental de Asturias', *Kobie. Paleoantropología* **37** (2019) 5-24, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8051964> (acceso en 2026-02-09).
53. Pérez de Castro, R., *Llanes en el siglo XVIII (Según el Catastro del Marques de la Ensenada)*, El Oriente de Asturias, Llanes (1989).
54. Ladero, M. Á., *Las ferias de Castilla, siglos XII a XV*, 1ª ed., Taravilla, Madrid (1994).

55. Morales, M. C., *Llanes: viejas historias, nuevos patrimonios*, 1.ª ed., El Oriente de Asturias, Llanes (2004).
56. Rodríguez Díaz, E., 'Carreteros y arrieros de Sajambre. El intercambio de mercancías en la montaña oriental leonesa (SS. XVI-XVIII)', *Estudios Humanísticos. Historia* **14** (2015) 39-71, <https://doi.org/10.18002/ehh.voi14.4091>.
57. Díaz-Caneja, J. T., *Mas propiedades de Villanueva y su antigüedad*, Boletín del Instituto de Estudios Asturianos, Oviedo (1985).
58. Mañana, G., *Por la Senda del Arcediano*, Caja de Ahorros de Asturias, Oviedo (1990).
59. Gutiérrez Claverol, M.; Luque Cabal, C., *Recursos del subsuelo de Asturias*, Universidad de Oviedo, Oviedo (1993).
60. Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras S.A. *Llanes*, Ministerio de Industria y Energía, Madrid (1981).
61. Empresa Nacional Adaro de investigaciones mineras S.A., *Ribadesella*, Ministerio de Industria y Energía, Madrid (1986).
62. Martínez Álvarez, J. A., 'Notas sobre un depósito kárstico de marcasita de las inmediaciones de Llanes (Asturias)', *Revista de la Facultad de Ciencias. Universidad de Oviedo* **I**(2) (1960) 257-262, <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/4595> (acceso en 2026-02-09)
63. Adaro y Magro, L. *Criaderos de hierro en España. Criaderos de Asturias*, Vol. II, Sucesores de Rivadeneyra, Madrid (1916).
64. Trespando, J. M., 'La almagrera de Labra: la piedra del escándalo', in *Sociedad Perriniana de Corao* (2003-01-28), <https://perriniana.com/2023/01/28/la-almagrera-de-labra-la-piedra-del-escandalo/> (acceso en 2026-02-09)
65. Rodríguez Terente, L. M.; Luque Cabal, C.; Gutiérrez Claverol, M., 'Los registros mineros para sustancias metálicas en Asturias', *Trabajos de Geología* **26** (2006) 30-34.
66. '14 de noviembre de 1952, principio del fin de la Mina de Bolao', in *Selva Asturiana* (4 de julio de 2016), <https://selvaasturiana.com/14-de-noviembre-de-1952-principio-del-fin-de-la-mina-de-bolao/> (acceso en 2026-02-09).

RECIBIDO: 2025.6.16

REVISTO: 2025.11.21

ACEPTADO: 2026.2.11

ONLINE: 2026.6.2



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons

AtribuciónNoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Para ver una copia de esta licencia, visite

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Diversidad y patogenicidad potencial de hongos microscópicos en el Parque Museo Arqueológico de Tunja de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Diversidade e potencial patogenicidade de fungos microscópicos no Parque Museu Arqueológico de Tunja da Universidade Pedagógica e Tecnológica da Colômbia

Diversity and potential pathogenicity of microscopic fungi in the Archaeological Museum Park of Tunja at the Pedagogical and Technological University of Colombia

Resumen

Este estudio evaluó la diversidad de hongos microscópicos en dos espacios del Parque Museo Arqueológico de Tunja (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia), con el objetivo de analizar su posible impacto sanitario y su capacidad de biodeterioro sobre materiales patrimoniales. Se recolectaron 50 muestras de aire, superficies, restos bioantropológicos y cerámica, cultivadas en agar Sabouraud con cloranfenicol (0,05 g/L) e incubadas a 25 °C. Mediante análisis macroscópicos y microscópicos se identificaron 20 géneros de hongos y levaduras, predominando *Penicillium* (26,9 %), *Cladosporium* (15,6 %), *Fusarium* (14,4 %) y *Mucor* (5,4 %). Estos géneros han sido reportados en la literatura por su asociación tanto en procesos infecciosos como con la degradación de materiales. Los resultados evidencian un riesgo potencial dual, sanitario y de conservación, que sustenta la necesidad de implementar estrategias de monitoreo y control ambiental orientadas a la protección de la salud y del patrimonio cultural.

Resumo

Este estudo avaliou a diversidade de fungos microscópicos em dois espaços do Parque Museu Arqueológico de Tunja (Universidade Pedagógica y Tecnológica de Colombia), com o objetivo de analisar o seu possível impacto sanitário e a sua capacidade de biodeterioração sobre materiais patrimoniais. Foram recolhidas 50 amostras de ar, superfícies, restos bioantropológicos e cerâmica, cultivadas em agar Sabouraud com cloranfenicol (0,05 g/L) e incubadas a 25 °C. Por meio de análises macro e microscópicas, foram identificados 20 géneros de fungos e leveduras, com predominância de *Penicillium* (26,9%), *Cladosporium* (15,6%), *Fusarium* (14,4%) e *Mucor* (5,4%). Estes géneros têm sido referidos na literatura pela sua associação tanto a processos infecciosos como à degradação de materiais. Os resultados evidenciam um risco potencial duplo, sanitário e de conservação, que sustenta a necessidade de implementar estratégias de monitorização e controlo ambiental orientadas para a proteção da saúde e do património cultural.

Abstract

This study assessed the diversity of microscopic fungi in two areas of the Archaeological Museum Park of Tunja, (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia), aiming to analyze their potential impact on human health and their capacity to cause biodeterioration of heritage materials. A total of 50 samples were collected from air, surfaces, bioanthropological remains, and ceramic objects. These samples were cultured on Sabouraud agar with chloramphenicol (0,05 g/L) and incubated at a temperature of 25 °C. Macroscopic and microscopic analyses identified 20 genera of fungi and yeasts, with *Penicillium* (26,9 %), *Cladosporium* (15,6 %), *Fusarium* (14,4 %), and *Mucor* (5,4 %) being the most prevalent. These genera have been reported in the literature for their association with both infectious processes and material degradation. The findings indicate a dual potential risk, sanitary and conservation-related, highlighting the need to implement monitoring and environmental control strategies to protect both public health and culture heritage.

**ANA YERVID RODRÍGUEZ
SÁENZ¹** 
**BERNARDO MELÉNDEZ
ÁLVAREZ^{1*}** 
**PEDRO MARÍA ARGÜELLO
GARCÍA²** 

1. Grupo de investigación atención primaria en salud, Facultad Ciencias de la Salud, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Calle 24 No 5-63, Antiguo Hospital San Rafael, Colombia

2. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Colombia

*bernardo.melendez@uptc.edu.co

PALABRAS-CLAVE

Identificación de hongos
Biodeterioro
Diversidad fúngica
Conservación museológica
Riesgo patógeno

PALAVRAS-CHAVE

Identificação fúngica
Biodeterioração
Diversidade fúngica
Conservação de museus
Risco patogénico

KEYWORDS

Fungal identification
Biodeterioration
Fungal diversity
Museum conservation
Pathogenic risk

Introducción

La sede central de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia se ubica sobre un significativo y excepcional sitio arqueológico conocido como el Cercado Grande de los Santuarios. Este yacimiento fue un lugar de importancia política y ritual, habitado entre el año 200 AEC y el 1532 EC [1-2]. Los restos arqueológicos excavados desde finales del siglo pasado se cuentan por miles y se han depositado en los laboratorios y bodegas adscritos al Parque Museo Arqueológico de Tunja. Dos de las colecciones arqueológicas más relevantes, por su singularidad y cantidad, corresponden a los restos óseos humanos y las vasijas de cerámica con potencial museográfico. La primera se compone de aproximadamente 400 individuos y la segunda de varias decenas de piezas.

Los hongos, organismos ampliamente distribuidos, son capaces de prosperar en una variedad de climas y suelos, incluso en entornos extremos. Su presencia se ve influenciada por factores como la contaminación, las condiciones de humedad, la temperatura y la actividad humana. Estos factores pueden favorecer la propagación de esporas fúngicas en espacios interiores, lo que, en casos significativos, puede resultar en el deterioro de los objetos arqueológicos y en problemas de salud [3-6].

Los hongos son considerados como uno de los principales agentes de deterioro de los objetos arqueológicos [7-9]. Tienen capacidad de alterar de forma considerable materiales orgánicos e inorgánicos. El término "biodeterioro" se utiliza comúnmente para describir la descomposición de materiales culturales, históricos y antropológicos causada por agentes biológicos [10-11]. Sin embargo, los impactos negativos del biodeterioro han sido subestimados debido a la falta de investigaciones sobre los mecanismos involucrados [12]. En este sentido, los hongos y los insectos representan las principales amenazas para los museos y las colecciones de valor histórico [13].

La presencia de hongos en espacios museográficos e instituciones de interés patrimonial constituye un problema relevante tanto para la conservación de las colecciones como para la salud de los trabajadores y visitantes debido a su capacidad de colonizar materiales orgánicos e inorgánicos y de dispersar esporas potencialmente alergénicas o patógenas. En investigaciones relacionadas con el tema, la micobiota contaminante se ha estudiado mayoritariamente desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo [7, 14].

La exposición de los trabajadores durante la jornada laboral a gran cantidad de esporas fúngicas puede causarles reacciones alérgicas, asma, queratitis, micosis oportunistas y otras enfermedades ocupacionales mediadas por diversos factores de virulencia propios de cada género fúngico [15-16]. En el estudio realizado por Zielinska-Jankiewicz et al. [17], 12 especies fueron consideradas potencialmente patógenas para los humanos: 8 de ellas presentaban propiedades alérgicas y 11 presentaban propiedades tóxicas; estos hallazgos han sido confirmados y ampliados por revisiones más recientes que destacan su impacto en la conservación patrimonial como en la salud humana [14, 18].

Las micotoxinas, incluso en bajas concentraciones, provocan trastornos gastrointestinales, daños en el sistema hematopoyético y genital junto a síntomas inespecíficos (astenia y náuseas) similares a los relacionados con el síndrome del edificio enfermo [20].

Un estudio realizado por Wiszniewska en 2009, concluyó que el 30 % de los empleados del museo estaban sensibilizados a al menos uno de los alérgenos fúngicos probados y que la prevalencia de síntomas alérgicos entre los sujetos era relativamente alta y frecuentemente relacionada con enfermedades específicas [15].

En Colombia, los trabajos sobre microbiota en museos y colecciones patrimoniales se concentran en contextos específicos [11], lo que evidencia la necesidad de ampliar la investigación en otros espacios museográficos. La presente investigación tiene como objetivo determinar la presencia de hongos microscópicos en aire, superficies, restos bioantropológicos y objetos de cerámica, pertenecientes al Parque Museo Arqueológico de Tunja de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, a través de su aislamiento e identificación.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Parque Museo Arqueológico de Tunja, perteneciente a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Este estudio observacional descriptivo de corte transversal evaluó la diversidad y dominancia de hongos mediante el análisis de 50 unidades de muestreo recolectadas en dos recintos del museo. El primer espacio fue el Laboratorio de Osteología, donde se conservan restos óseos humanos de época prehispánica, y el segundo, el Área de Reserva, que alberga vasijas de cerámica. Las muestras se obtuvieron de diversas superficies, incluyendo el piso, las paredes, el aire, restos bioantropológicos y los objetos de cerámica.

Para la obtención de muestras de la superficie de las paredes y el piso se delimitaron áreas y se colocaron marcos de cuadrados de cartón cartulina de 5 × 5 cm, lo que generó una superficie de 25 cm² en cada área seleccionada. Las muestras se tomaron utilizando hisopos estériles humedecidos con solución de cloruro de sodio al 0,85 %. Posteriormente, estas muestras se sembraron en agar Sabouraud con cloranfenicol (0,05 g/L). Las muestras en los dos espacios se colectaron según la técnica del cuadrado, modificada por los investigadores [21].

Para el muestreo del aire, se utilizó el método pasivo o gravimétrico de sedimentación de cajas de Petri, el cual permite llevar los microorganismos presentes en el aire a la superficie del medio sólido para su cultivo [22]. En el Laboratorio de Osteología, se realizaron seis muestreos en diferentes áreas (dos en la parte superior, dos en la parte media y dos en la parte inferior) que carecían de corrientes de aire. En el Área de Reserva, se realizaron cuatro muestreos (uno en la parte superior, dos en la parte media y uno en la parte inferior), también sin corrientes de aire. Este método consistió en dejar destapada una caja de Petri con agar Sabouraud con cloranfenicol (0,05 g/L) durante 30 minutos en las áreas seleccionadas [23].

Las cajas se llevaron a incubar a temperatura de 25 °C durante dos semanas. Una vez finalizado el periodo de incubación, se procedió al conteo de unidades formadoras de colonia (UFC/m³) de hongos por metro cúbico de aire. Este conteo se realizó de acuerdo con la fórmula propuesta por Omeliansky: $N = 5a \times 10^4 (\text{bt})^{-1}$ [24].

En cuanto a las muestras de vasijas de cerámica y restos bioantropológicos, se seleccionaron según el criterio de inclusión basado en la presencia de signos de visibles de biodeterioro, tales como manchas, eflorescencias, micelio superficial, cambios de coloración y desprendimiento de material [7, 10]. La toma de muestras se realizó mediante un raspado aséptico de las áreas con indicadores de crecimiento en diferentes puntos de las piezas. Estas muestras también se sembraron en agar Sabouraud con cloranfenicol (0,05 g/L).

Las muestras sembradas se incubaron a temperatura de 25 °C durante dos semanas. Tras este periodo de incubación, se llevaron a cabo evaluaciones macroscópicas y microscópicas de las colonias de hongos, teniendo en cuenta características como pigmentación, presencia de hifas aéreas, plegamientos, textura y tamaño del cultivo a nivel macroscópico. Para la descripción morfológica microscópica, con el fin de determinar el género del morfotipo aislado, se realizó un examen de las muestras empleando hidróxido de potasio (KOH al 10 %) y azul de lactofenol. Para las levaduras, se realizó la prueba de tubo germinal con el fin de determinar la presencia o no de *Candida* sp. Además, de manera complementaria se usó la coloración de Gram para la observación general de levaduras, sin fines taxonómicos [25]. Estas evaluaciones microscópicas se realizaron utilizando un microscopio óptico con objetivos de 10× y 40×. La identificación de los géneros fúngicos se realizó mediante claves morfológicas de identificación descritas por Hoog et al [26]. Posteriormente se procesaron los datos y se calcularon los índices de diversidad (Shannon) y de dominancia (Simpson) para los diferentes tipos de muestra y para cada recinto del museo [18, 27]. La Tabla 1 presenta las muestras tomadas de acuerdo con el lugar del museo, la zona de muestra y la cantidad tomada.

La clasificación del potencial patogénico y de biodeterioro se realizó con base en la evidencia reportada en la literatura especializada.

Tabla 1. Descripción de los sitios de muestreo.

Sitio	Zona del muestreo	Número de muestras
Laboratorio de Osteología	Aire	6
	Pared	6
	Objetos	12
	Cráneos	6
	Piso	2
Área de reserva	Aire	4
	Pared	5
	Objetos	5
	Piso	4

Análisis estadístico

El procesamiento y análisis de los datos se realizó con el software R, utilizando la librería “vegan” para los cálculos de diversidad [28-29]. Se realizó estadística descriptiva a partir de la cual se presentan gráficas de frecuencia de aparición de los diferentes géneros fúngicos con respecto a cada recinto, tipo y número de muestras.

Declaración sobre aspectos éticos

Este estudio se clasifica como un estudio de riesgo mínimo y se condujo siguiendo las normas éticas aplicables a trabajos de investigación.

Resultados y discusión

Los museos albergan materiales orgánicos susceptibles al crecimiento de hongos debido a factores ambientales, acumulación de polvo y limitaciones en ventilación, almacenamiento y control climático [7, 14]. En el Parque Museo Arqueológico de Tunja, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, se estudió la diversidad de hongos microscópicos en dos recintos específicos (Laboratorio de Osteología y Área de Reserva) y en distintas zonas (aire, objetos, superficies generales y piso). Estos espacios carecen de ventilación adecuada y contienen piezas bioantropológicas cubiertas de tierra y polvo, factores que favorecen la proliferación de hongos, especialmente los filamentosos, que deterioran los materiales y representan riesgos para la salud.

Este trabajo permitió detectar la presencia de hongos en todos los ambientes muestreados, en distinta frecuencia y cantidad de colonias. Se aislaron e identificaron 20 géneros de hongos filamentosos y levaduras: 11 en el aire, 13 en las superficies, 9 en los restos bioantropológicos y 12 en los objetos de cerámica. Los géneros predominantes fueron *Penicillium*, *Cladosporium*, *Fusarium* y *Botrytis*.

En las muestras de aire se identificaron los géneros de *Acremonium*, *Alternaria*, *Bipolaris*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Chrysosporium*, *Fusarium*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Trichothecium*.

En superficies se identificaron los géneros de *Aspergillus*, *Alternaria*, *Bipolaris*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Gliocladium*, *Mucor*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Trichothecium* y *Verticillium*.

En restos bioantropológicos se identificaron los géneros de *Alternaria*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Trichothecium* y *Verticillium*.

En los objetos de cerámica se encontraron los géneros de *Acremonium*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Candida*, *Cladosporium*, *Chrysosporium*, *Geotrichum*, *Fusarium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Rhodotorula*, *Trichoderma*.

Los géneros *Penicillium*, *Cladosporium*, *Fusarium* y *Botrytis*, se identificaron tanto en aire, superficies, restos bioantropológicos y en vasijas de cerámica.

Resultados según recintos

Con el propósito de conocer cómo las condiciones de ventilación deficiente, acumulación de polvo, tipo de material almacenado, humedad y temperatura influyen en la diversidad y distribución de los hongos en cada tipo de ambiente en el museo [21], se calcularon los índices de Shannon y Simpson [18, 27] según el tipo de muestra y para cada recinto.

Los valores del índice de Shannon para ambos recintos, Laboratorio de Osteología y Área de Reserva son similares: 2,3 y 2,2 respectivamente. Estos resultados indican que ambos tienen una diversidad de géneros fúngicos relativamente alta y similar. La pequeña diferencia sugiere que en el Laboratorio de Osteología puede haber una mayor diversidad de géneros o una distribución más uniforme de ellos.

El índice de Simpson es de 0,86 y 0,82 para los recintos 1 y 2 respectivamente. Esto muestra que el Laboratorio de Osteología (recinto 1) tiene una menor dominancia de un solo género, es decir, una mayor equidad en la distribución de géneros. En el Área de Reserva (recinto 2) algunos géneros pueden ser más dominantes, lo que se traduce en una ligera menor diversidad efectiva. En general, los dos recintos presentan comunidades de hongos diversas y distribuidas de manera equitativa, sin que un género en particular sea altamente dominante.

Los índices de Shannon y Simpson [30] permitieron evaluar la diversidad y equidad de géneros fúngicos en cada área. El Laboratorio de Osteología (recinto 1), presentó un índice de Shannon de 2,3 y un índice de Simpson de 0,86, mientras que en el Área de Reserva (recinto 2), los índices fueron de 2,2 y 0,82. Estos resultados reflejan una diversidad fúngica elevada y una distribución de géneros ligeramente más equitativa en el Laboratorio de Osteología, lo cual sugiere condiciones ambientales favorables para el desarrollo de una comunidad de hongos diversa, aunque con ciertos géneros dominantes en el recinto 2.

Se cuantificaron hongos filamentosos en una concentración fúngica que osciló entre 1115 y 1345 UFC/m³ de aire, para el recinto 1 y de 385 a 463 UFC/m³ de aire, para el recinto 2. Por lo cual, las concentraciones fúngicas detectadas oscilaron entre 385 y 1345 UFC/m³ de aire. El mayor número de hongos filamentosos se registró en el Laboratorio de Osteología. Las concentraciones fúngicas también difieren, con valores altos en el recinto 1 (1115-1345 UFC/m³) en comparación con el recinto 2 (385-463 UFC/m³), según la escala de Omeliansky [24], lo cual indica niveles de contaminación significativamente mayores en el Laboratorio de Osteología [31]. Las mayores concentraciones fúngicas observadas en este recinto podrían asociarse con una mayor carga de material orgánico, acumulación de polvo, mayor manipulación de piezas y menor ventilación, factores reconocidos como determinantes de la contaminación fúngica en museos [31].

En el aire de los recintos del Parque Museo las concentraciones fúngicas estuvieron entre 385 y 1345 UFC/m³ de aire, superadas por $2,6 \times 10^2$ UFC/m³, reportadas por Guiamet et al. [21], quizás se deba a la manera de almacenamiento y a los materiales arqueológicos almacenados [31] (Figura 1).

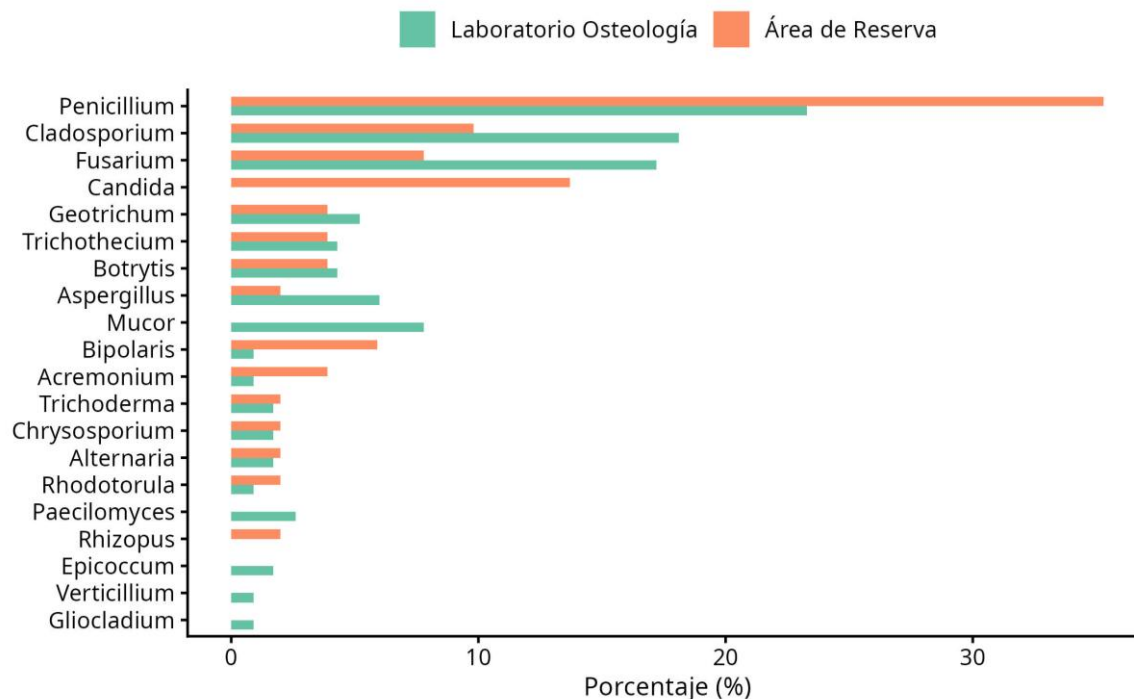


Figura 1. Distribución porcentual en cada recinto del museo y según el género de hongo.

Resultados según las zonas de muestreos (aire, objetos, superficies)

Índice de Shannon: el aire presenta la menor diversidad de hongos (Shannon 2,08) en comparación con los objetos (2,38) y las superficies (2,2), posiblemente debido a condiciones menos estables o con menor disponibilidad de nutrientes, favoreciendo la predominancia de ciertos géneros. En contraste, los objetos muestran la mayor diversidad y una distribución equitativa, probablemente debido a la variedad de materiales que ofrecen hábitats diferentes. Las superficies tienen una diversidad moderada, con condiciones favorables, aunque menos variadas que en los objetos [32-33].

El índice de Simpson es menor en el aire (0,84), lo que sugiere la dominancia de uno o pocos géneros y refleja menor equidad o estabilidad en esa zona. En cambio, los objetos (0,87) y las superficies (0,86) muestran una distribución de géneros más equitativa, sin un género dominante, indicando condiciones más favorables para una diversidad equilibrada en estas áreas.

En cuanto a las distintas zonas de muestreo, se encontraron diferencias en la diversidad fúngica. Los objetos presentaron la mayor diversidad y equidad de géneros, con un índice de Shannon de 2,38 y un índice de Simpson de 0,87, probablemente debido a la variedad de materiales que proporcionan hábitats favorables. Las superficies generales tienen una diversidad y equidad intermedias (índice de Shannon de 2,2 y Simpson de 0,86), indicando condiciones menos variadas en comparación con los objetos, pero que aún permiten el desarrollo de una comunidad fúngica equilibrada. El aire, con un índice de Shannon de 2,08 y de Simpson de 0,84, muestra una menor diversidad y una equidad más baja, sugiriendo condiciones inestables que favorecen la predominancia de pocos géneros. Finalmente, el piso presentó los valores más bajos (índice de Shannon de 1,88 y de Simpson de 0,8), indicando una fuerte dominancia de ciertos géneros en esta superficie, posiblemente debido a factores como la humedad y el tipo de material.

La Figura 2, muestra la distribución según frecuencia de los diferentes géneros de hongos que se encontraron a partir de muestras tomadas, en aire, superficies (pared y piso), y objetos de las colecciones del museo.

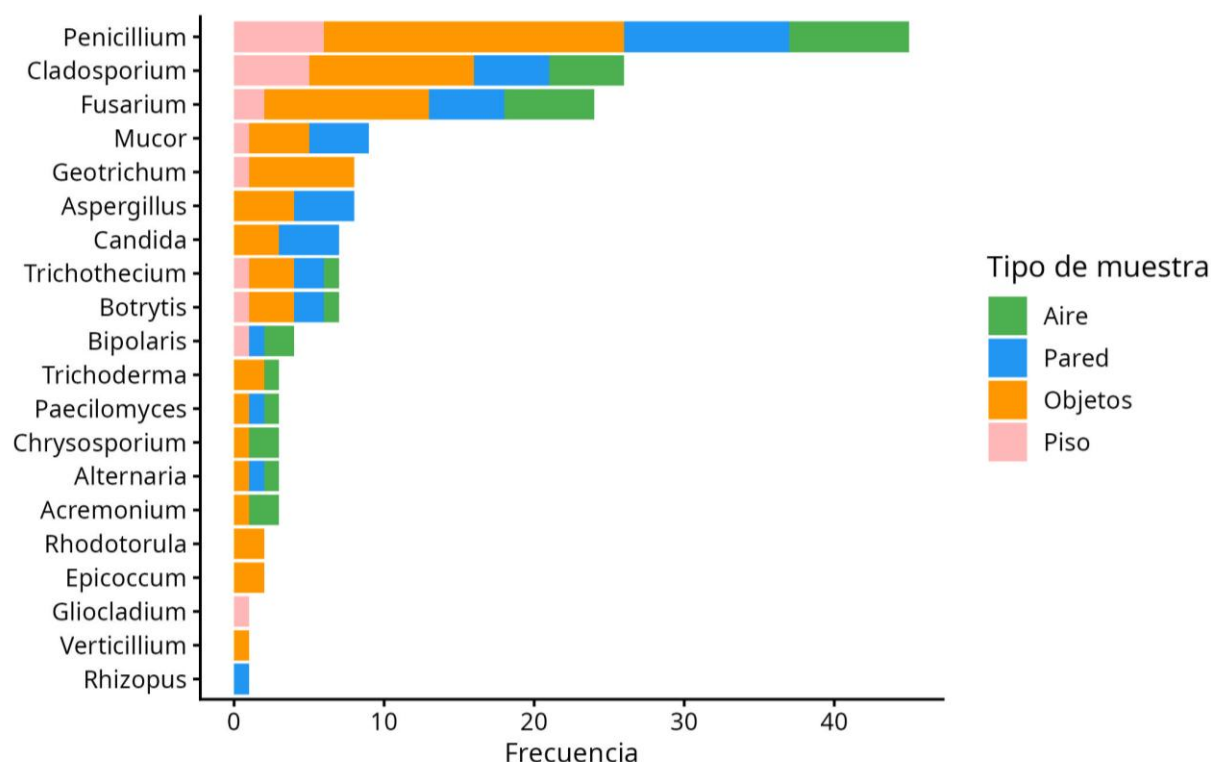


Figura 2. Distribución según frecuencia de cada género de hongo en cada sitio de muestreo.

Resultados según frecuencia, proporción y potencial patológico y/o de biodeterioro

Durante el estudio, se identificaron 20 géneros de hongos filamentosos y levaduras, siendo los más frecuentes *Penicillium*, con un 26,9 % de las muestras, le sigue *Cladosporium* con un 15,6 %, *Fusarium* con un 14,4 %, *Mucor* con un 5,4 %, y *Aspergillus* con un 4,8 %. Entre los que *Penicillium*, *Cladosporium* y *Aspergillus*, han sido reportados en ambientes y material arqueológico por varios estudios a nivel mundial [19, 21, 24, 31, 34].

La Figura 3, presenta el análisis integrado de frecuencia y potencial patológico. Se evidencia que los géneros más prevalentes no corresponden exclusivamente a aquellos de mayor riesgo clínico, sino que existe una distribución heterogénea entre microorganismos de bajo, medio y alto potencial patológico. Este hallazgo sugiere que el riesgo sanitario en el museo no depende únicamente de la abundancia, sino también de la composición específica de la comunidad fúngica, lo cual es consistente con reportes previos en ambientes interiores con carga biológica diversa. Gran parte de los hongos filamentosos y levaduras encontrados en el presente estudio, también fueron encontrados en estudios realizados en museos [21, 24, 34].

En la presente investigación se identificaron las levaduras *Candida*, *Rhodotorula* y *Geotrichum*; similar al estudio de, López-Aranda y Colaboradores, donde reportaron los géneros *Candida* y *Rhodotorula*, junto a hongos filamentosos, en momias, con visible deterioro [23].

La Figura 4, presenta la visualización conjunta de la frecuencia y el potencial de biodeterioro. Una proporción importante de los géneros identificados tiene capacidad para degradar tanto materiales orgánicos como inorgánicos. Estos géneros, comunes en museos a nivel global, están asociados tanto al deterioro de materiales, óseos y cerámicos, como a efectos adversos sobre la salud humana, incluyendo reacciones alérgicas y enfermedades respiratorias especialmente en personas inmunocomprometidas [35]. *Penicillium*, fue el género predominante en este estudio, representando un 29,6 % de los casos. Este género, frecuente en ambientes interiores [27, 31], posee enzimas que descomponen materiales inorgánicos, permitiéndole obtener nutrientes de objetos bioantropológicos, como lo observado especialmente en el Laboratorio de Osteología.

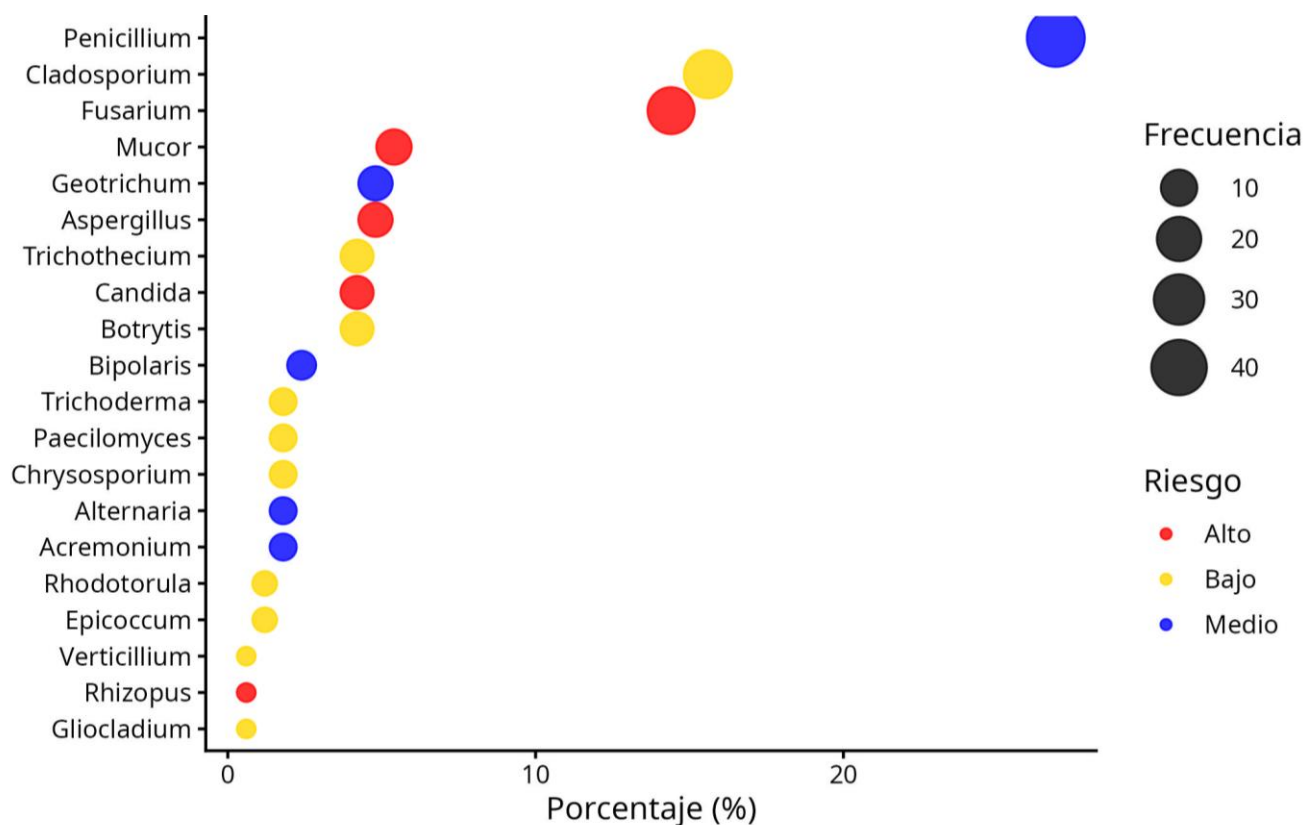


Figura 3. Distribución de los géneros fúngicos identificados según su frecuencia y proporción relativa, en relación con su potencial patogénico para humanos. El tamaño de las burbujas representa la frecuencia absoluta, mientras que la posición en el eje horizontal indica el porcentaje de ocurrencia. El color corresponde al nivel de riesgo patogénico clasificado en bajo, medio y alto, con base en reportes de la literatura científica.

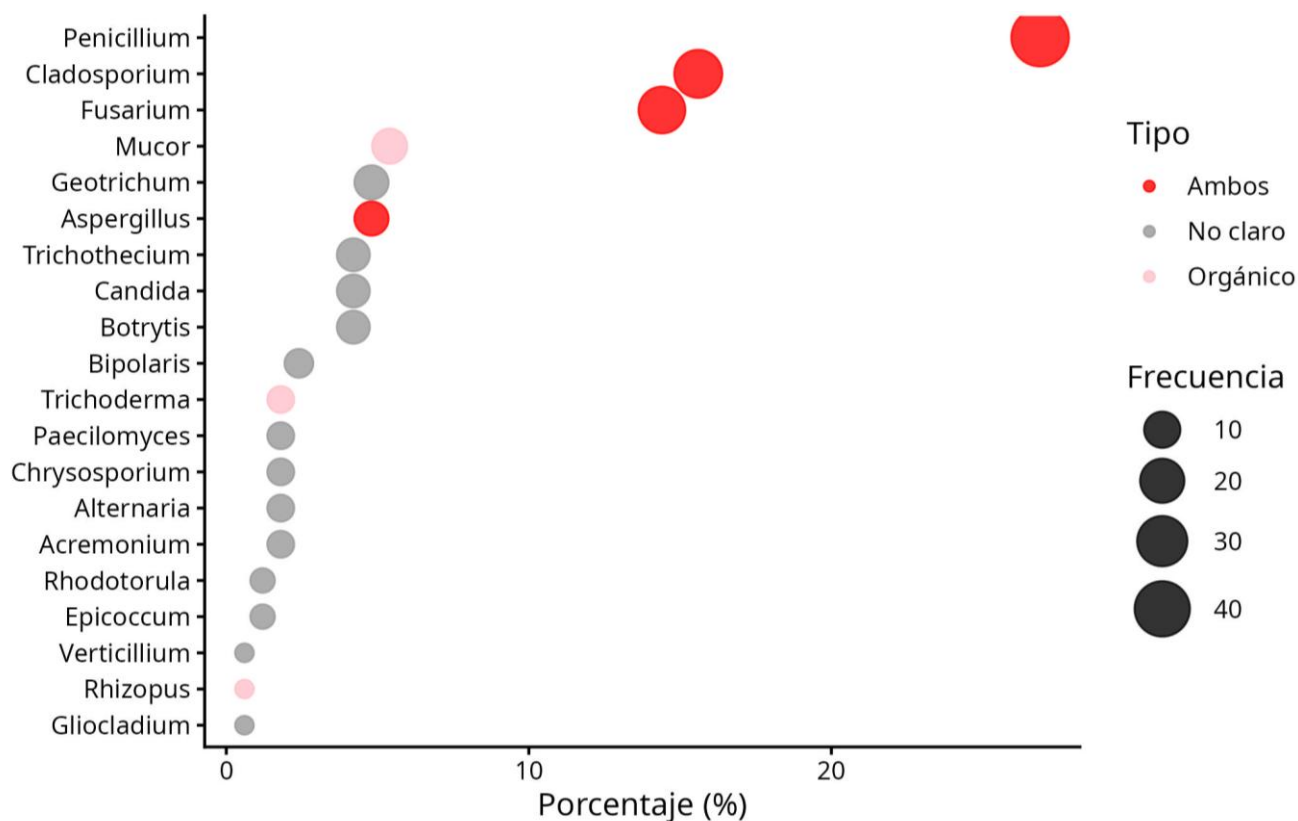


Figura 4. Distribución de los géneros fúngicos según su frecuencia y proporción relativa, en función de su potencial de biodeterioro sobre materiales patrimoniales. El tamaño de las burbujas representa la frecuencia absoluta de cada género, mientras que el eje horizontal indica su porcentaje de ocurrencia. Los colores corresponden a categorías de impacto sobre materiales orgánicos, inorgánicos o ambos, de acuerdo con su capacidad reportada en la literatura.

Las esporas del género *Penicillium* son reconocidas como contaminantes relevantes del patrimonio cultural, tal como se observó en el Museo objeto de este estudio. Su proliferación se ve favorecida no solo por factores ambientales, sino por su capacidad de reducir fosfato inorgánico, un componente de la hidroxiapatita presente en los huesos. Esto convierte a los restos óseos en una fuente casi inagotable de minerales para este género. Algunas especies de *Penicillium* son patógenas y pueden causar alergias, asma y alveolitis alérgica, e incluso se encuentran asociadas a infecciones invasoras en pacientes inmunocomprometidos [19, 34].

La presencia de *Aspergillus* y *Cladosporium*, refuerza la necesidad de implementar medidas de control en los espacios analizados para minimizar los riesgos de exposición prolongada, especialmente en personas vulnerables como niños, adultos mayores y aquellos con enfermedades crónicas. Los hongos del género *Aspergillus*, pueden causar infecciones pulmonares, sinusitis y, en algunos casos, están relacionados con enfermedades como bronconeumonía alérgica, aspergilosis, queratitis y sinusitis alérgica [34-35].

Por su parte, *Cladosporium* es uno de los géneros más comunes en ambientes interiores en suspensión en el aire, considerado un hongo dominante universal [21, 24, 31]. Está asociado con asma y esporosis, y algunas de sus especies son oportunistas, capaces de provocar procesos micóticos pulmonares, infecciones cutáneas, cromoblastomicosis y lesiones neurotrópicas [19, 34].

Fusarium, es un hongo oportunista encontrado principalmente en desechos y suelo, desempeña un papel importante en la degradación de detritos vegetales y como patógeno de plantas. Sin embargo, también puede causar infecciones en humanos y animales [35]. *Mucor*, un hongo saprofito que se alimenta de materia orgánica en descomposición causa mucormicosis, se identificó en un 5,4 % de los casos, mientras que en el estudio de Rodríguez-García fue raramente encontrado, por lo cual se consideró de poca importancia ecológica para el biodeterioro material [31, 35].

Geotrichum y *Acremonium*, pueden causar infecciones en personas inmunosuprimidas o inmunocomprometidas. *Geotrichum*, hongo levaduriforme oportunista en pacientes inmunosuprimidos puede causar infecciones pulmonares, intestinales, cutáneas y fungemias [36-37].

Los géneros *Botrytis*, *Trichothecium*, *Chrysosporium*, *Gliocladium*, *Trichoderma* y *Verticillium*, no se consideran, en condiciones normales, patógenos para el ser humano, ya que su relevancia principal se asocia a ambientes naturales, suelos y material vegetal en descomposición. No obstante, su presencia resulta ecológicamente significativa, pues participan activamente en los procesos de degradación orgánica y equilibrio microbiano. En este contexto, también se destaca la identificación de géneros menos frecuentes como *Alternaria*, *Paecilomyces*, *Epicoccum* y *Bipolaris*, los cuales cumplen un papel relevante en la dinámica ecológica del Parque Museo Arqueológico de Tunja [36-37].

En contraste, algunos hongos y levaduras identificados presentan un mayor interés clínico. Las especies del género *Candida*, son reconocidas por su capacidad de causar infecciones oportunistas, como la candidiasis en diferentes sitios del cuerpo humano, especialmente en individuos inmunocomprometidos. De igual forma, *Rhizopus* puede ocasionar mucormicosis tanto localizada como diseminada, siendo la sinusitis y la neumonía las manifestaciones más frecuentes, generalmente asociadas a enfermedades subyacentes y favorecidas por la inhalación de esporas o la implantación traumática. Finalmente, las levaduras del género *Rhodotorula* han sido descritas como patógenos oportunistas capaces de producir infecciones graves, incluyendo fungemias, meningitis, endocarditis, peritonitis y endoftalmitis principalmente en pacientes inmunosuprimidos [36-37].

Los géneros *Penicillium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, y *Rhizopus*, aislados en el presente estudio, también fueron reportados en investigaciones previas, como la de Lopez-Aranda, en el museo Tumbas Reales de Sipán [23].

Paecilomyces, aunque menos común, es un hongo filamentosos saprófito que suele aparecer como contaminante en laboratorios y puede causar infección en humanos, siendo identificado también en este estudio [38].

Los hallazgos subrayan la importancia de implementar un protocolo de control de calidad del aire y un monitoreo continuo de factores como humedad y temperatura en el Parque Museo

Arqueológico de Tunja. Estas medidas son esenciales para limitar la proliferación de hongos y garantizar la conservación adecuada de las colecciones. Se recomienda capacitar al personal en la identificación de situaciones de riesgo y en prácticas de higiene y ventilación. Adicionalmente, estudios más amplios sobre la diversidad microbiana en otros espacios similares permitirán desarrollar estrategias de preservación que protejan tanto las colecciones como la salud de visitantes y trabajadores.

Conclusiones

Destacan la presencia y variedad significativa de géneros fúngicos en las distintas áreas de muestreo.

El uso de los índices de Shannon y Simpson permitió cuantificar tanto la diversidad como la equidad en la distribución de géneros, revelando que las zonas con mayores valores de diversidad y equidad (como los objetos) ofrecen un ambiente más favorable para una comunidad fúngica diversa, mientras que el aire y el piso presentan menor diversidad y mayor predominancia de ciertos géneros.

Estos resultados sugieren que los materiales y las condiciones ambientales particulares de cada zona, como los niveles de humedad, ventilación, y tipo de superficies, influyen en la composición de la comunidad fúngica.

Los géneros *Penicillium*, *Cladosporium* y *Fusarium* fueron predominantes y coinciden con estudios similares en museos alrededor del mundo, evidenciando una problemática común en estos espacios de preservación. Estos hongos representan riesgos tanto para la integridad de los materiales, como los restos bioantropológicos y objetos de cerámica, como para la salud de los visitantes y personal del museo, especialmente en personas con sistemas inmunológicos comprometidos, dado que algunos de estos géneros están asociados con patologías respiratorias y reacciones alérgicas.

Se subraya la importancia de implementar medidas preventivas en el museo, tales como el control de calidad del aire, la mejora en la ventilación y la reducción de factores como la humedad y el polvo en los recintos. Además, se recomienda capacitar al personal para identificar y mitigar posibles focos de contaminación y realizar estudios periódicos de control microbiológico que contribuyan a la preservación de las colecciones y la salud de los usuarios. La continuidad de este tipo de investigaciones permitirá optimizar las estrategias de conservación en espacios patrimoniales y generar ambientes más seguros y sostenibles.

REFERENCIAS

1. Pradilla, H.; Villate, G.; Ortiz, F., 'Arqueología del cercado grande de los santuarios', *Boletín del Museo del Oro* (1993) 21-147.
2. Argüello, P., *Tunja Prehispánica*, UPTC, Tunja (2023), <https://doi.org/10.19053/9789586607940>.
3. Mallo, A. C.; Eliades, L. A.; Nitiu, D. S.; Saparrat, M. C. N., 'Fungal monitoring of the indoor air of the Museo de La Plata Herbarium, Argentina', *Revista Iberoamericana de Micología* **34**(2) (2017) 99-105, <https://doi.org/10.1016/j.riam.2016.05.003>.
4. Kour, D.; Khan, S. S.; Gusain, M.; Bassi, A.; Kaur, T.; Kataria, A.; Kaur, S.; Kour, H., 'Airborne fungal communities: diversity, health impacts, and potential AI applications in aeromycology', *Aerobiology* **3**(4) (2025) 10, <https://doi.org/10.3390/aerobiology3040010>.
5. Fashola, M. O.; Ajilogba, C. F.; Aremu, B. R.; Babalola, O. O., 'Airborne fungi and mycotoxins', in *Aeromicrobiology*, Elsevier, London (2023) 147-175, <https://doi.org/10.1016/C2021-0-01860-5>.
6. Lu, Y.; Wang, X.; Almeida, L. C. S. D. S.; Pecoraro, L., 'Environmental factors affecting diversity, structure, and temporal variation of airborne fungal communities in a research and teaching building of Tianjin University, China', *Journal of Fungi* **8**(5) (2022) 431, <https://doi.org/10.3390/jof8050431>.
7. Sterflinger, K., 'Fungi: their role in deterioration of cultural heritage', *Fungal Biology Reviews* **24**(1-2) (2010) 47-55, <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2010.03.003>.
8. Farro-Barbaran, R.; Ramos-Iturregui, W. M.; Iglesias-Osores, S.; Carreño-Farfán, C., 'Aislamiento e identificación de microorganismos ambientales del museo Tumbas Reales de Sipán', *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica* **24**(2) (2021) 1-11.
9. Mircea, C.; Vulpoi, A.; Rusu, I.; Radu, C.; Pârnu, M.; Kelemen, B., 'Exploring post-excavation degradation potential of fungal communities associated with archaeological human remains', *Archaeometry* **61**(3) (2019) 750-763, <https://doi.org/10.1111/arcim.12438>.

10. Koestler, R. J., 'Biodeterioration in museum collections', in *Met Objectives*, ed. D. Schorsch & M. Manuels, The Sherman Fairchild Center for Objects Conservation, New York (2002), <https://repository.si.edu/items/d1e759f7-627d-4421-8d5d-ac09ff2cfc6> (acceso en 2026-05-22).
11. Carrillo Chavez, L. M.; Arias Bermúdez, N.; Nieto Venegas, M. J.; Pinto Sanchez, N. R.; Patiño, M. C., 'Study of biodeterioration and evaluation of proteolytic activity caused by microorganisms in specimens of a zoological collection in Colombia', *Conservar Património* **45** (2023) 7-20, <https://doi.org/10.14568/cp24895>.
12. Kakakhel, M. A.; Wu, F.; Gu, J.-D.; Feng, H.; Shah, K.; Wang, W., 'Controlling biodeterioration of cultural heritage objects with biocides: a review', *International Biodeterioration & Biodegradation* **143** (2019) 104721, <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.104721>.
13. Urzì, C.; Leo, F. D., 'Biodeterioration of cultural heritage in Italy: state of art', in *European Research on Cultural Heritage. State of Art Studies*, vol. 2, ed. D. Milos, Academy of Sciences in The Czech Republic, Praga (2004) 465-471.
14. Pinheiro, A. C.; Sequeira, S. O.; Macedo, M. F., 'Fungi in archives, libraries, and museums: a review on paper conservation and human health', *Critical Reviews in Microbiology* **45**(5-6) (2019) 686-700, <https://doi.org/10.1080/1040841X.2019.1690420>.
15. Wiszniewska, M.; Walusiak-Skorupa, J.; Gutarowska, B.; Krakowiak, A.; Pałczyński, C., 'Is the risk of allergic hypersensitivity to fungi increased by indoor exposure to moulds?', *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* **22**(4) (2009) 343-354, <https://doi.org/10.2478/v10001-009-0030-7>.
16. Scarlat, I.; Haiducu, M.; Stepa, R., 'Air contamination with fungals in museum', *ACTA Universitatis Cibiniensis* **66**(1) (2015) 165-168, <https://doi.org/10.1515/aucts-2015-0047>.
17. Zielińska-Jankiewicz, K.; Kozajda, A.; Piotrowska, M.; Szadkowska-Stańczyk, I., 'Microbiological contamination with moulds in work environment in libraries and archive storage facilities', *Annals of agricultural and environmental medicine* **15**(1) (2008) 71-78.
18. Trovão, J.; Portugal, A.; Soares, F.; Paiva, D. S.; Mesquita, N.; Coelho, C.; Pinheiro, A. C.; Catarino, L.; Gil, F.; Tiago, I., 'Fungal diversity and distribution across distinct biodeterioration phenomena in limestone walls of the old cathedral of Coimbra, UNESCO World Heritage Site', *International Biodeterioration & Biodegradation* **142** (2019) 91-102, <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.05.008>.
19. Cepeda, R.; Luque, L.; Ramirez, D.; Franco, P.; Fabra, M., 'Monitoreo de hongos ambientales en laboratorios y reservas patrimoniales bioarqueológicas', *Boletín Micológico* **34**(2) (2019) 33-49, <https://doi.org/10.22370/bolmicol.2019.34.2.1909>.
20. Micali, O.; Montacutelli, R.; Tarsitani, G., 'Pathogenic microorganisms and situations of risk to man', in *Cultural heritage and aerobiology: methods and measurement techniques for biodeterioration monitoring*, eds. P. Mandrioli, G. Caneva y C. Sabbioni, Springer, Dordrecht (2003) 31-43.
21. Guimet, P.; Borrego, S.; Lavin, P.; Perdomo, I.; de Saravia, S. G., 'Biofouling and biodeterioration in materials stored at the Historical Archive of the Museum of La Plata, Argentine and at the National Archive of the Republic of Cuba', *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* **85**(2) (2011) 229-234, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2011.02.031>.
22. Pérez, H.; Sánchez, V. L., 'Propuesta de diseño de monitoreo ambiental microbiológico para diagnóstico de niveles de contaminación en áreas de procesamiento aséptico', *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* **44**(3) (2010) 7-14.
23. López-Aranda, B. G., 'Caracterización microbiológica de los almacenes del museo Tumbas Reales de Sipán en Lambayeque, Perú', *La zaranda de ideas* **18**(2) (2020) 136-145.
24. Bogomolova, E.; Kirtsideli, I., 'Airborne fungi in four stations of the St. Petersburg Underground railway system', *International Biodeterioration & Biodegradation* **63**(2) (2009) 156-160, <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2008.05.008>.
25. Larone, D. H., *Medically important fungi: a guide to identification*, 2ª ed., American Society for Microbiology, Washington, D.C (1993)
26. de Hoog, G.; Guarro, J.; Gené, J.; Figueras, M. J., *Atlas of clinical fungi*, CABI Digital Library (2000), <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20013005530>.
27. Carvalho, H. L. da S. P., *Biodeterioration in cultural assets: fungal contamination assessment in art objects and documents*, tesis doctoral, Departamento de Ciencias da Vida, Universidade de Coimbra, Coimbra (2018).
28. R Core Team, *R: A Language and environment for statistical computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna (2023), <https://www.R-project.org/> (acceso en 2026-05-22).
29. Oksanen, J.; Simpson, G. L.; Guillaume Blanchet, F.; Kindt, R.; Legendre, P.; Minchin, p. R.; O'Hara, R. B.; Solymos, P.; Stevens, M. H. H.; Szoecs, E.; Wagner, H.; et al., 'Ordination methods, diversity analysis and other functions for community and vegetation ecologists', in *vegan: Community Ecology Package* (2004), <https://CRAN.R-project.org/package=vegan> (acceso en 2026-05-22).
30. Magurran, A. E., *Measuring Biological Diversity*, Blackwell Publishing, Oxford (2004).
31. García, J. C. R., 'Microbiología aplicada: una herramienta para la conservación del Patrimonio Cultural', *Conservar Património* **24** (2016) 23-36, <https://doi.org/10.14568/cp2015007>.
32. Toyoda, A.; Shibata, Y.; Matsuo, Y.; Terada, K.; Sugimoto, H.; Higashi, K.; Mori, H.; Ikeuchi, A.; Ito, M.; Kurokawa, K.; Katahira, S., 'Diversity and compositional differences of the airborne microbiome in a biophilic indoor environment', *Scientific Reports* **13**(1) (2023) 8179, <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34928-9>.
33. Adams, R. I.; Miletto, M.; Taylor, J. W.; Bruns, T. D., 'The diversity and distribution of fungi on residential surfaces', *PLoS ONE* **8**(11) (2013) e78866, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0078866>.
34. Méndez-Puentes, C. A.; Camacho-Suárez, J. G.; Echeverry-Hernández, S., 'Identification of bacteria and fungi in the air of Neiva, Colombia', *Revista de Salud Pública* **17**(5) (2015) 728-737, <https://doi.org/10.15446/rsap.v17n5.38468>.
35. Zaragoza, O., *Los hongos microscópicos, ¿Amigos o enemigos?*, Instituto de Salud Carlos III (ISCIII), Centro Nacional de Microbiología (CNM), Madrid (2018), <https://repisalud.isciii.es/handle/20.500.12105/11824>.
36. Arenas Guzmán, R., *Micología médica ilustrada*, 6ª ed., McGraw-Hill Interamericana, Ciudad de México (2019).
37. Bonifaz Trujillo, J. A., *Micología médica básica*, 6ª ed., McGraw Hill, Ciudad de México (2020).

38. Senthilkumar, M.; Anandham, R.; Krishnamoorthy, R., 'Paecilomyces', in *Beneficial microbes in agro-ecology*, eds. N. Amaresan, M. S. Kumar, K. Annapurna, K. Kumar & A. Sankaranarayanan, Elsevier, London (2020) 793-808, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823414-3.00041-1>.

RECIBIDO: 2024.12.20

REVISTO: 2026.4.30

ACEPTADO: 2026.5.5

ONLINE: 2026.6.3



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons

AtribuciónNoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Para ver una copia de esta licencia, visite

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

The Coptic textiles of the Paul and Alexandra Canellopoulos Museum: an analytical approach

Os têxteis coptas do Museu Paul e Alexandra Canellopoulos: uma abordagem analítica

ARTEMIOS OIKONOMOU^{1,2,*} 
GEORGIOS P.
MASTROTHEODOROS¹ 
CHRISTOS KARYDIS^{3*} 

1. Department of Conservation of Antiquities and Works of Art, University of West Attica, Athens, Greece

2. Fitch laboratory, British School at Athens, 52 Souedias Street GR10676 Athens, Greece

3. Department of Environment, Ionian University, Zakynthos, Greece

*artoikonomou@uniwa.gr;
c.karydis@ionio.gr

Abstract

Paul and Alexandra Canellopoulos private collection was donated to the Greek State in 1972 and soon after (1976), the homonymous Museum was inaugurated. The collection includes more than 6,500 antiquities and works of art from different historical periods and cultures, including a remarkable number of Coptic archaeological textiles. These textiles survive today due to the Coptic custom of burying them with the dead and to the aridity of the Egyptian graves. The dry environmental parameters which all these items have been buried or stored gave us the opportunity to study them until nowadays. The Canellopoulos Museum houses 19 textile fragments, which date from the 5th/6th to the 12th century. The four fragments were chosen to a detailed analytical investigation. The selected textiles were subjected to a combination of non-invasive and slightly invasive analytical techniques to determine the type of the fibers, the inorganic components associated with them, and the dyes used for coloring them.

Resumo

A coleção particular de Paul e Alexandra Canellopoulos foi doada ao Estado grego em 1972 e, pouco depois (1976), foi inaugurado o museu com o mesmo nome. A coleção inclui mais de 6500 antiguidades e obras de arte de diferentes períodos históricos e culturas, incluindo um número notável de têxteis arqueológicos coptas. Estes têxteis sobrevivem até hoje devido ao costume copta de os enterrar com os mortos e à aridez das sepulturas egípcias. Os parâmetros ambientais secos em que todos estes itens foram enterrados ou armazenados deram-nos a oportunidade de os estudar até aos dias de hoje. O Museu Canellopoulos abriga 19 fragmentos têxteis, que datam do século V/VI ao século XII. Os quatro fragmentos foram escolhidos para uma investigação analítica detalhada. Os têxteis selecionados foram submetidos a uma combinação de técnicas analíticas não invasivas e pouco invasivas para determinar o tipo de fibras, os componentes inorgânicos e os corantes a eles associados.

KEYWORDS

Coptic textiles
Analytical techniques
hh-XRF
Optical microscopy
UHLPC

PALAVRAS-CHAVE

Têxteis coptas
Técnicas analíticas
hh-XRF
Microscopia ótica
UHLPC

Introduction

Coptic textiles represent a significant aspect of ancient Egyptian heritage, particularly during the transition from the Late Roman period to Christianity, which is marked by a distinctive evolution in textile production techniques and artistic expression. Emerging around the fourth century CE, the pertinent textiles are characterized by their elaborate designs and advanced weaving technologies. Coptic textiles were primarily used to create tunics which were commonly worn by men, women, and children [1].

These textiles were not only functional, they were often adorned with complex decorative motifs that reflected both the cultural and religious transformations occurring in Egypt during this period. The decorative motifs frequently included symbolic representations of animals, plants, and human figures, which were influenced by earlier Egyptian traditions but adapted and transformed to align with the early Christian beliefs [2]. Such textile artifacts found in archaeological sites are incredibly vulnerable due to their nature, making them scarce in the archaeological record, particularly in regions like Greece with a Mediterranean climate [3; 4, pp. 18-24].

The Pavlos and Alexandra Canellopoulou Museum (P & A Museum) houses 19 textile fragments, which date from the fifth/sixth to the twelfth century and belong to the aforementioned category of late antiquity period i.e. Coptic textiles [5-6] (Table 1). It shall be noted that the term “Coptic” derives from the word “qbt” or “qibt”, which is the Arabic equivalent of the Greek word for “Egyptian”. After the Arab conquest of Egypt in the seventh century, the Arabs used this term to distinguish the indigenous Egyptian population from other groups living in the country, such as Greeks and Romans. Consequently, Coptic textiles – and Coptic art in general – were not made exclusively for Christian Egyptians, but were used by all inhabitants of the region, regardless of their religion [7].

The significance of Coptic textiles extends far beyond their aesthetic appeal; they serve as vital historical materials that provide insights into the social and religious practices of the time they were manufactured and circulated throughout the Mediterranean. The burial customs of the Copts often involved dressing the deceased in multiple layers of clothing, including tunics and other textiles, which were placed in graves as part of the inhumation rites, contrasting with the mummification practices of earlier periods [8]. This practice emphasizes the importance of Coptic textiles in both daily life and ritual contexts, as they were integral to the identity and beliefs of the Coptic community.

In addition to their technical and artistic quality, Coptic textiles have gathered attention from scholars and collectors, particularly during the late nineteenth and early twentieth centuries when archaeological discoveries in Egypt led to an influx of these artifacts into international collections [9]. This strong interest in collecting these artifacts led to their dispersal across numerous public and private museums, often in fragmentary condition and without proper documentation regarding their provenance or excavation context. Besides, the nineteenth and twentieth century illicit trafficking of such artifacts had an immense impact on their dissemination around the globe, and by the 1970s, it was estimated that over 150,000 Coptic textiles were scattered among various museums [10].

Today, Coptic textiles continue to be a subject of scholarly interest, with ongoing research focused on their iconography, dye composition, and the socio-cultural contexts in which they were produced and used. The study of Coptic textiles has evolved significantly due to the enhanced potentialities of the modern scientific techniques. Various techniques have been employed to identify features like weaving methods, fibers and dyes determination, degradation stage in archaeological textiles [11-15]. Recent advancements in the applied methods enable high-quality results without damaging the artifacts, often using extremely small samples obtained from already damaged areas or employing a non-invasive approach following ethical conservation principles [16].

Table 1. The 19 Coptic textiles of the P&A Museum, with their respective inventory number, dimensions and date (CE) [6].

Inventory number	Textile	Date (century)	Dimensions Height × Width (m)	Inventory number	Textile	Date (century)	Dimensions Height × Width (m)
D2547		5th/6th	0.195 × 0.185	D2549		7th/9th	0.052 × 0.130
D2552			0.265 × 0.235	D2562		7th/8th	0.095 × 0.065
D2551		7th	0.240 × 0.200	D2560			0.10 × 0.130
D2546		7th/8th	0.248 × 0.093	D2554			0.085 × 0.145
D2550		7th/8th	0.250 × 0.100	D2559		7th/9th	0.105 × 0.093
D2548		7th/8th	0.090 × 0.274	D2555			0.130 × 0.065
D2553		7th/9th	Overall: 0.180 × 0.150 Image: 0.145 × 0.125	D2558		7th/10th (?)	0.103 × 0.080

Inventory number	Textile	Date (century)	Dimensions Height × Width (m)	Inventory number	Textile	Date (century)	Dimensions Height × Width (m)
D2561		7th/9th	0.300 × 0.065-0.120 (at the widest point).	D2545		11th/12th	1.030 × 0.215
D2556		7th/10th	0.060 × 0.065				
D2557		9th/11th	0.110 × 0.220				
D2590		10th/12th	0.105 × 0.160				

Such analyses not only enhance our understanding of the technical aspects of Coptic textile production but also contribute to the broader narrative of cultural ex-change and continuity in the Mediterranean region. As such, they remain a vital area of study for understanding the interplay between art, religion, and daily life in ancient Egypt, offering a window into the complexities of Coptic identity and heritage.

The main aim of this paper is to apply an array of analytical techniques such as Optical Microscopy (OM), handheld X-ray Fluorescence Spectroscopy (hh-XRF) and Ultra High Performance Liquid Chromatography (UHPLC) in order to identify the nature of the fibres used, to understand the inorganic components that are associated to the fibres and the dyestuff used on selected fragments of Coptic textiles from the collection of the Paul and Alexandra Canellopoulos Museum.

Materials and methods

The Coptic textiles

The Coptic textiles collection of the Paul and Alexandra Canellopoulos Museum consists of 19 fragments with several iconographic motives (Table 1). From this collection we have chosen the four most interesting -in terms of iconography- fragments (samples D2550, D2554, D2557 and D2560,) that employ fibers with a variety of colours. In addition, from three out of the four textiles, namely D2550, D2554 and D2557 minute fiber samples were collected from loose areas without further damaging the fragment to investigate them using OM (Figure 1, bottom right). In total six fibers were removed from the three textile fragments exhibiting a variety in colours (Table 2).



Figure 1. Example of the minute fiber samples extracted from textile D2554: top right red fibers (D2554-4), and bottom right blue fibers (D2554-5).

Sample D2550 probably comes from a tunic and was part of its vertical decorative bands ("marks"). This piece bears a depiction of a hunting scene and dates at the seventh-eighth century CE. Sample D2554 is a rectangular section of fabric. On a dark blue background, three naked figures (Cupids?) march to the right with a dancing step holding unspecified objects (shields?); this piece dates at seventh-eighth century CE. Sample D2557 probably comes from the sleeve of a tunic and dates at the ninth-tenth century CE. At a pale yellow background, two parallel rectangular oblong spaces with depiction (one reverse of the other) felines with a raised tail and birds grow in deep red. Finally, sample D2560 is a circular "point" from a tunic with stylized floral decoration. Externally has a circular green frame which grows towards inside in red depth colorful stylized floral decoration; the sample dates at the seventh-eighth century CE.

Analytical techniques

Optical microscopy (OM)

The OM was performed at the Laboratory of Physicochemical Analyses of the Department of Environment at the Ionian University. The optical observation was carried out using the Leica DM 2500M optical microscope at various magnifications.

Handheld X-ray fluorescence (hh-XRF) spectroscopy

Further to the microscopic study, hh-XRF spectroscopy was employed to study the components of the textiles, since this spectroscopic technique allows for the non-invasive detection of elements with $Z > 12$ (Mg). The analysis was performed in situ in the Cannelopoulos Museum using the Tracer 5 g, Bruker, spectrometer which is equipped with a Rh anode X-ray source (50 kV, 4 W, 1 μ m graphene side window), a 20 mm² SDD detector and a 3 mm collimator. For each point of analysis two spectra were collected: the first spectrum was collected by operating the spectrometer at a setup of 15 kV and 30 μ A (voltage and current respectively), and the second by a 50 kV and 30 μ A setup with an additional employment of a Ti-Al filter. The collected spectra were subsequently evaluated and processed using the Artax software (Bruker). In particular, the total counts of each characteristic X-ray peak were calculated, allowing thus for the direct comparison across different spots of analysis because the spectra were collected under identical

operating conditions [17–18]. This allows us to assess relative differences in elements' presence (i.e., whether a given element is more or less abundant in one sample/spot of analysis compared to another), even if absolute concentrations are not calculated.

Ultra high performance liquid chromatography and photo diode array detection system (UHPLC-DAD)

Finally, the identification of the dyes was performed using a UHPLC-DAD with Waters equipment [19] at the Textile Research Lab of the Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium-Institut Royal du Patrimoine artistique (KIK-IRPA, Brussels, Belgium).

The samples were extracted following established dye-extraction protocols [20–22]. Depending on the sample, acidic methanol extraction was applied alone or in combination with dimethylformamide (DMF), ethyl acetate (EtAc), EDTA, or formic acid. Extracts were dried under vacuum and re-dissolved in methanol/water (1:1, v/v), of which 20 µL was injected for analysis.

Chromatography was carried out on a temperature-controlled reversed-phase C18 column following two protocols:

Protocol 1: Lichrosorb RP-18 (4.0 × 125 mm, 5 µm) with solvents (A) water, (B) methanol, (C) 5 % phosphoric acid in water; gradient 60A/30B/10C to 10A/80B/10C over 26 min at 1.2 mL/min.

Protocol 2: Grace Vydac DE C18 (3.2 × 250 mm, 5 µm) with solvents (A) acetonitrile, (B) water, (C) 0.1 % trifluoroacetic acid; gradient from 10A/70B/20C to 60A/40B/0C over 40 min, then 10 min isocratic at 0.4 mL/min.

Detection was performed with a Waters photodiode array detector (DAD) over the 200–600 nm range, and dye identification was based on comparison with the KIK/IRPA reference spectral database [19].

More details about the analytical protocol are described elsewhere [23].

Results

OM

The OM observation revealed the morphological characteristics of the fibers used for the construction of the textiles (Table 2). All fibers were made of wool and display the corresponding characteristic small scales on their surface (Figure 2). Regarding sample D2554, numerous dust and dirt deposits were observed on the surface of the red fiber (sample D2554-4), while several areas of damage attributable to poor preservation were observed on the blue fiber (sample D2554-5).

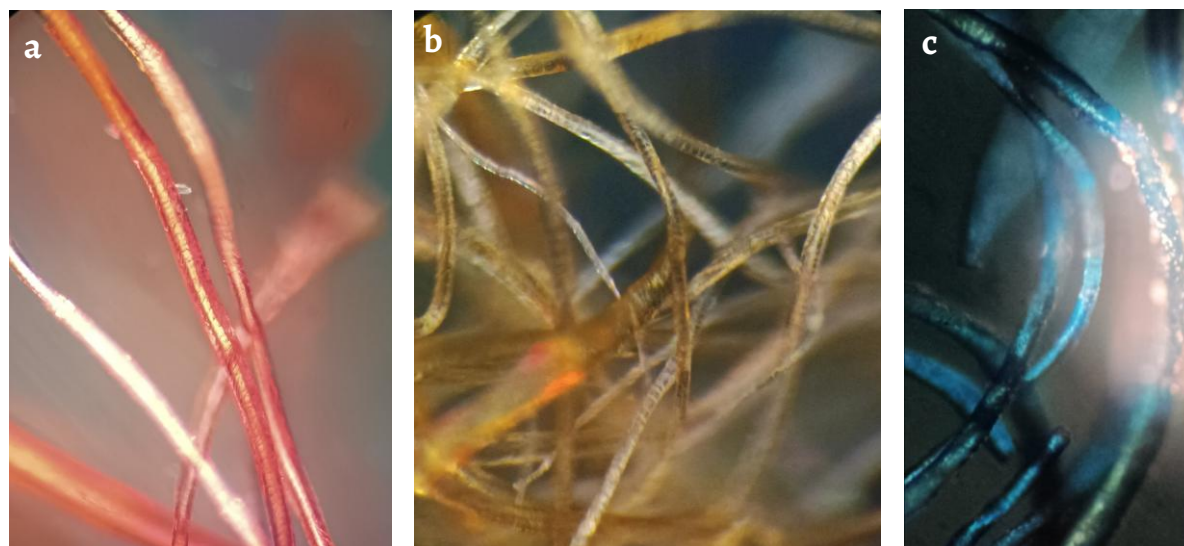


Figure 2. Characteristic photos of the samples: a) D2550-1 20× magnification; b) D2550-2 20× magnification; c) D2550-3 40× magnification.

Table 2. Fiber colour, the morphological characteristics and the fiber natures of the samples under analysis as determined through the use of OM.

Sample	Fiber colour	Morphological characteristics	Fiber nature
D2550-1	Red	Small scales on the fiber's surface	Wool
D2550-2	Yellow		
D2550-3	Black		
D2554-4	Red		
D2554-5	Dark blue		
D2557-6	Light yellow/white		

hh-XRF analysis

The analytical results from the hh-XRF measurements on the Coptic textiles (Figure 3) offer interesting insights regarding their elemental fingerprint. In particular, as discussed in detail in the Materials & Methods section, we followed a semi-quantitative approach that allowed for an objective comparison between the intensities (total counts) of the characteristic X-ray peaks of the elements detected on every single sample/ spot of analysis; the corresponding results are summarized in Table 3.



Figure 3. Selected Coptic textiles and indication of the areas analyzed by hh-XRF: a) D25550; b) D2557; c) D2560; d) D2554.

Table 3. Summary of hh-XRF analysis results, the elemental peak intensities have been expressed in counts (total counts).

D2550														
	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn	Pb	Sr
Red	126	303	469	22875	4324	3247	14034	584	262	8023	149	148		692
Deep blue	124	363	464	22318	4134	3057	9612	607	470	8390	75	273		624
Gray	127	422	395	20346	4316	3124	14402	721	293	10977	80	373		594
Red-orange	119	494	223	19059	4134	3296	13832	698	351	11833	107	271		583
Yellowish	144	613	940	22088	4335	3278	15166	800	507	12443	98	243		521
Black	88	323	136	17379	4263	4008	13805	781	556	11865	152	177		930
Beige	109	320	145	22015	4300	3629	12743	1401	455	19178	102	122		659
Whitish	86	468	328	6513	4272	4047	19931	689	402	10159	66	177		458
D2554														
Support	117	157		1185	9021		11001	2889		12826				
Deep blue	487	2441	533	26149	9635	5179	46024	2852	1233	32117	295	212	1458	975
Off-white	1098	7998	914	2465	7551	8790	56186	5562	1429	64003	242	207		1413
Green	660	3053	1295	20635	8252	8593	37537	3266	1334	49593	606	268	337	2283
Yellow	908	6107	1039	18728	7487	8083	58031	5820	1704	64912	470	267	347	2061
Light blue	438	2318	1038	29067	22302	11771	52992	2097	1287	27894	149	191	253	1310
Orange	704	3048	1382	24051	38182	19913	49473	2477	1664	38542	446	305	236	4267
Purple	661	2954	1153	22074	24054	15142	34551	1988	1523	34570	509	277		3467
Red	340	1686	656	18778	11760	5952	38709	2084	881	19866	152	108		796
D2557														
Support	102	125		1270	9218		10197	2457	845	10888				
Off-white	319	1411	322	32371	8874	1999	33120	1418	810	14312	95	190		618
Red	517	1699	1098	29856	8970	2464	38546	1340	801	13839	141	172		875
Beige	581	3167	593	5431	49097	3449	23780	2486	704	24121	110	178		550
D2560														
Support	98	153		1264	8875	12076		2707		12187				
Off-white	232	699	347	35772	7261	14101	1780	1376	935	16532	168	178		
Green	332	1364	1735	31609	6873	14059	3987	1677	570	20283	140	247		659
Black	203	498	662	39504	7235	15617	2916	1182	1158	13405	137	167		
Red	337	864	1348	38010	7082	16454	3734	1340	1041	16777	134	289		505
Off-yellow	443	1258	2068	36131	6892	13965	4799	1654	1116	23087	132	211		419
Beige	324	810	1508	33579	7060	14332	5236	954	1301	14927	186	349		456
Light blue	258	1087	563	38282	7578	16482	3328	1912	992	19688	101	271		517
Light brown	253	887	553	39075	7161	19676	3774	2963	1415	45946	186	308		556

According to the data, it is obvious that the textile D2554 stands out due to the fact that it is the only to contain areas with detectable amounts of lead (Pb) as well as due to the notably enhanced elemental peaks of strontium (Sr) and silicon (Si) which were spotted in all the corresponding spectra/ points of analysis (Figure 4). The presence of silicon clearly pertains to contaminants like dust, dirt and soil contamination [24-25] while strontium might be relevant to soil contamination too; in fact, Sr-containing compounds like celestine (SrSO_4) are commonly associated with calcium sulfate and carbonate minerals [26-27]. Additionally, it is well known that traces of Sr are contaminated in wool fibers during wool growth, since this element is gradually incorporated in the body parts (including hair/wool) via the food consumption chain [28]. Therefore, the notably enhanced presence of Sr in case of the textile D2554 obviously suggests that this very fragment comes from a different – in comparison to the other fragments – origin.

On the other hand, it appears that certain other elements such as sulphur (S), potassium (K) and phosphorous (P) show very characteristic elevated values in all colours of the fibers for sample number D2560 compared to the other samples (D2550, D2554, D2557) (Figure 5). These and other chemical elements are minute components of wool and it has been demonstrated that their contents of can show significant variations among wool samples from different origins [29]. Additionally, elements like the aforementioned can also be presumably associated with the burial environment of this particular fragment, therefore the elevated intensities of the corresponding spectral peaks in case of fragment D2560 may hint to a potentially distinct provenance too (?). Moreover, it shall be noted that phosphorous enrichment takes place in soils that lay in proximity to decomposing corpses, a phenomenon which is very much affected by the environmental conditions [30]; therefore, elevated phosphorous might also be considered as a potential provenance fingerprinting clue. potassium (K) could indicate the use of an alkalizer in the form of plant/wood ash acting as a dyeing auxiliary [31].

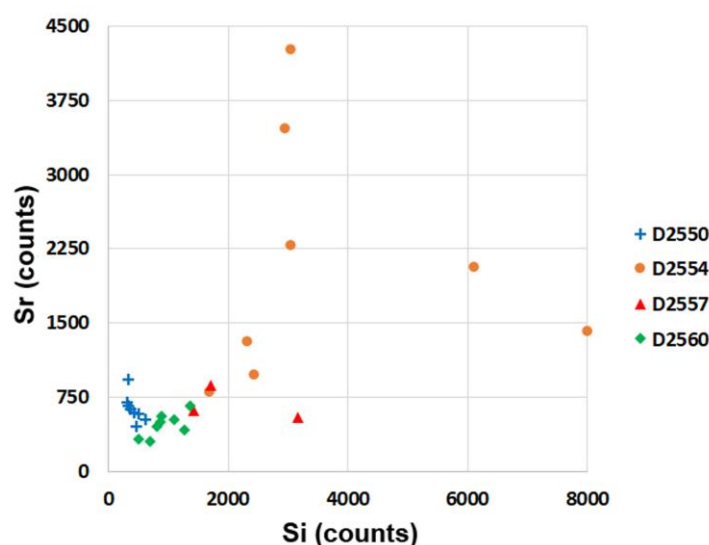


Figure 4. Total counts of the K-alpha elemental transition peaks of Sr versus Si in the analysed spots of the studied textiles; XRF data (Table 1).

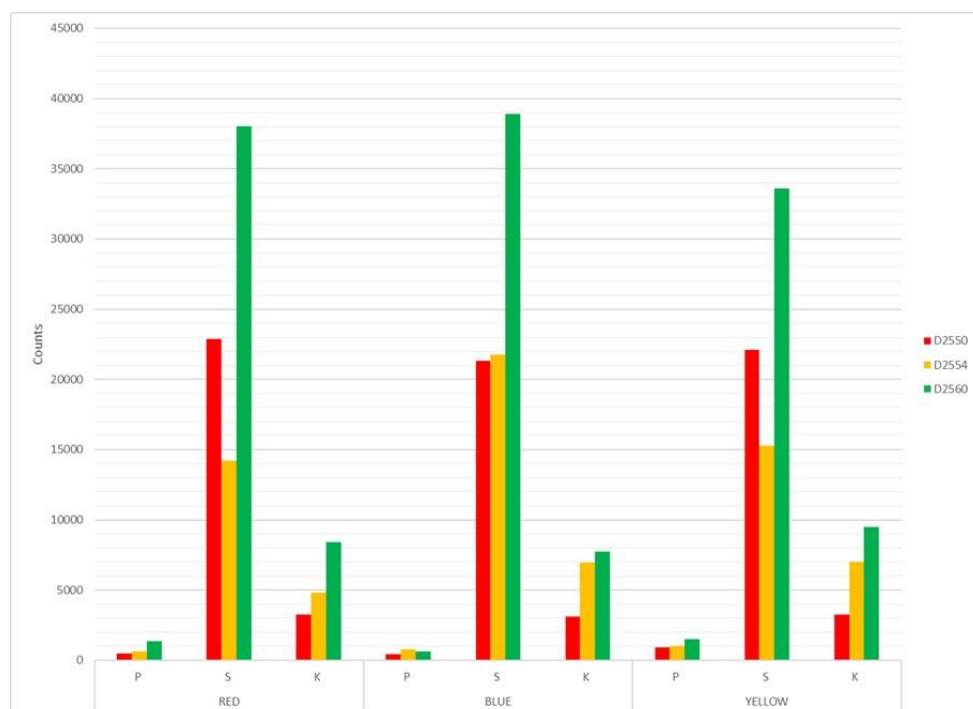


Figure 5. The peak intensity (total counts) of phosphorus (P), sulphur (S) and potassium (K) for the red, yellow and blue fibers of samples D2550, D2554 and D2560 respectively. We notice that D2560 has elevated values of these elements in all colours.

As for sample D2554, it has been already highlighted that it stands out due to the intense presence of Sr (see above). What is more, this particular sample shows elevated values of elements such as silicon (Si), aluminum (Al), calcium (Ca), titanium (Ti), manganese (Mn) and iron (Fe) compared to the rest of the samples (Table 3 and Figure 6). These elements are higher in D2554 regardless of the colour of the analysed fiber. In combination with the dirt particles that were observed on the fibers of this very garment under OM, it is assumed that these may correspond to argillaceous soil contamination. A typical composition of argillaceous soils has SiO₂: 40-60 % (from quartz and clay minerals), Al₂O₃: 10-25 % (from kaolinite, illite, smectite, etc.), Fe₂O₃: 5-15 % (iron oxides/hydroxides, e.g. hematite, goethite), CaO: 1-5 % (carbonates, calcite, or gypsum if present) and TiO₂: ~0.5-2 % (mainly from rutile/ilmenite in clays) among others.

Additionally, calcium, which is detected in every textile and in every colour, can also act as a dyeing auxiliary. Usually, its elevated presence may indicate the use of a calcium source to alkalis the dyeing vat through the use of burnt shells which is a commonly accepted procedure [19].

The assessment of potential use of dyeing auxiliaries like mordants is a rather difficult task and it is true that a more thorough analytical investigation (that must include detailed elemental analysis, like e.g. EDS) is needed in order to reach into conclusive results. Nevertheless, the herein presented XRF data turned out to be a sound background for a well-aimed first approach on this issue. First of all, the absence of tin (Sn) excludes the possibility of the use of mordants like stannous chloride. Similarly, despite the detection of minute copper in most of the XRF spectra (Table 3), it is rather difficult to state whether a copper-containing mordant was indeed used or not. In fact, copper is often detected in archaeological textiles and its presence can pertain to the employment of a pertinent mordant (CuSO₄), or to contamination due to the use of bronze vessels [32] for dying or proximity to Cu-containing objects in the burial environment [25]. In our case, only the XRF spectra collected from specimen D2554 show notably enhanced Cu elemental peaks, therefore it seems possible that a Cu-bearing mordant might have been used in this instance (Table 3 and Figure 7).

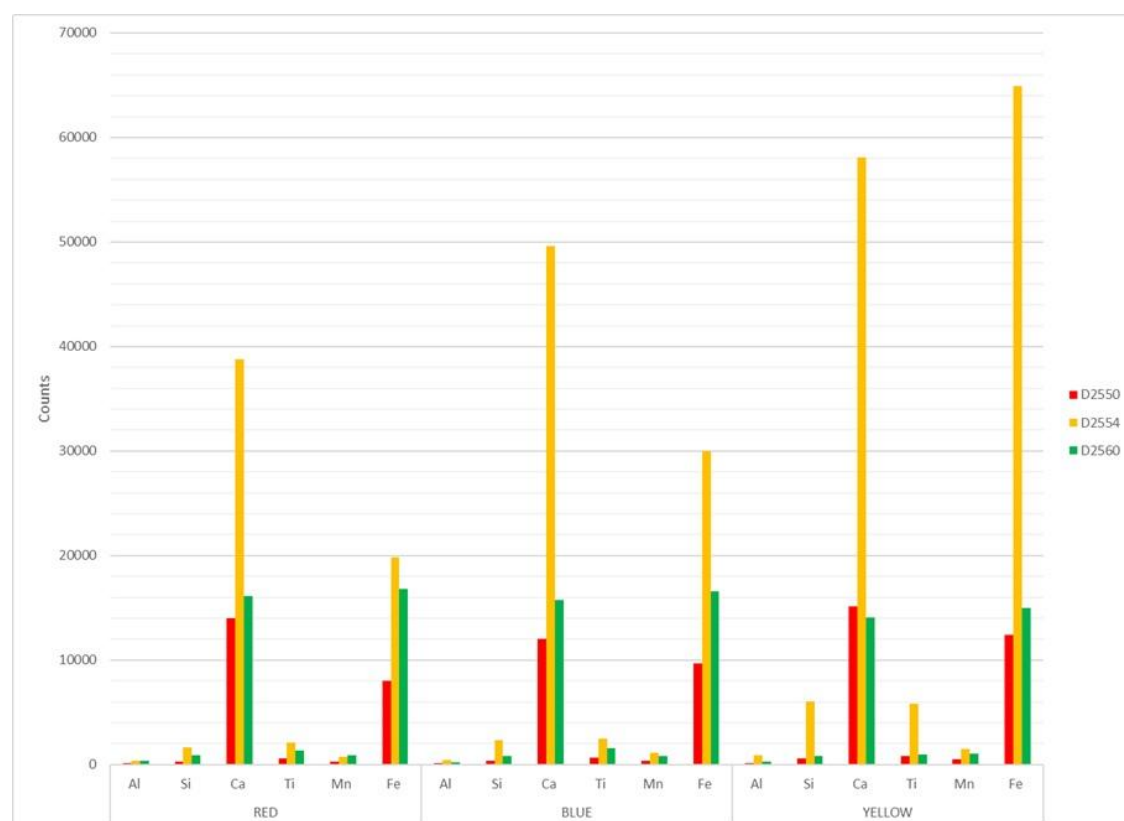


Figure 6. The relative intensities of characteristic XRF peaks of aluminum (Al), silicon (Si), calcium (Ca), titanium (Ti), manganese (Mn) and iron (Fe) for the red, yellow and blue fibers of samples D2550, D2554 and D2560.

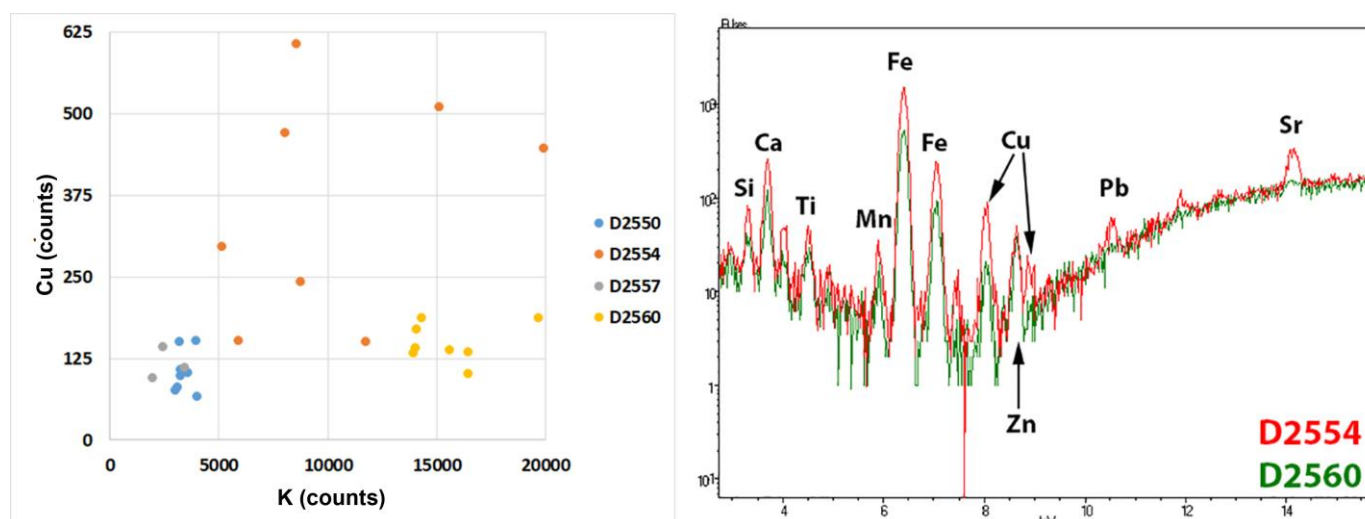


Figure 7. XRF analysis: *a*) XRF data, the intensities (total counts) of the elemental peaks of K versus Cu; *b*) XRF spectra from green coloured fibers of the fragments D2554 (red) and D2560 (green); note the difference in Cu peak intensities. Spectra in logarithmic scale.

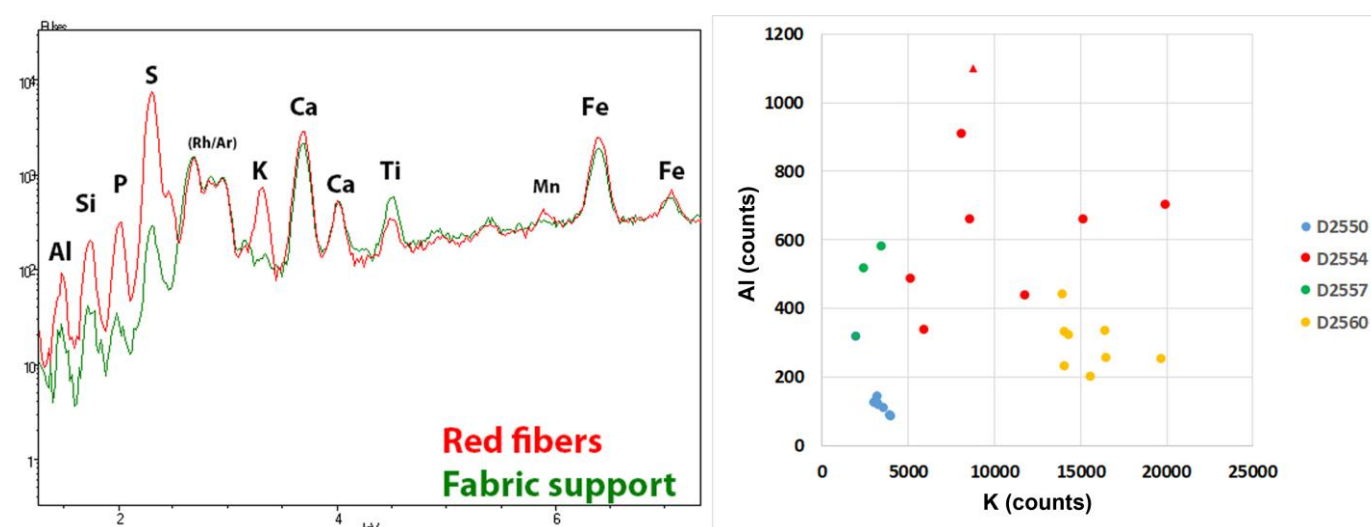


Figure 8. XRF analysis: *a*) hh-XRF spectra (logarithmic scale) from the background textile and the red colored fibers of artifact D2560 (note the differences in the peak intensities of aluminium, phosphorous, sulfur and potassium); *b*) XRF data, the intensities (total counts) of the elemental peaks of Al versus K.

On the contrary, the assessment of whether an alum type materials was used as mordant in the studied textile fragments is challenging due to the spectrometer rather low sensitivity to aluminium (Al). In fact, due to the employment of the graphene side window in the used spectrometer Al is indeed detected and corresponding peaks are spotted in all the spectra collected from Coptic textiles (Figure 8a). However, it has been demonstrated that the presence of Al can be considerably underestimated by the employed instrumentation [33], hence it is particularly difficult to ascertain the presence of alum-type mordants in the framework of the current study. Nevertheless, upon plotting the intensities of the elemental peaks of Al versus K (Figure 8b) it appears that the studied textile fragments show obvious and substantially deviating elemental composition trends. In particular, the spectra collected from areas of different colour of the fragment D2550 show practically identical and notably low intensities of Al and K elemental peaks, a fact that might allow for the exclusion of the use of alum in this instance. Contrarily, the spectra from fragments D2554, D2557 and D2560 show varying yet enhanced intensities of Al and K in comparison to those of the previously mentioned fragment, therefore employment of alum is possible. Additionally, it shall be noted that iron (Fe) may also pertain to a mordant, yet on the basis of the currently available analytical data it is not possible to exclude the possibility that its presence in the textiles under investigation pertains exclusively to soil contamination [34]. Besides, this assumption is corroborated by the fact that

elevated iron was detected on the fragments' supports too, i.e. on the fabrics on which the fragments have been stitched in the framework of their conservation/preparation for exhibition (Figure 8a).

UHPLC-DAD analysis

Regarding the dyestuff sources used for the analyzed fibers the collected data revealed the employment of rather typical – for both the type of artifacts and the era – dyes [35]. The corresponding analytical results are summarized in Table 4.

Some of the dyes that were identified include madder and weld -which are among the most common mordant dyes in Coptic textiles- indigo, and sappanwood. The dyeing of textiles with mordant dyes has been a well-known technique for centuries. Indeed, Pliny the Elder describes the mordant dyeing process followed by Egyptians; therefore, it is obvious that this method was established in Egypt well before the first century AD. This technique was used in Roman and pre-Roman Europe but disappeared during the Middle Ages, only to reappear in the first half of the eighteenth century (1742) through the descriptions of Jesuit missionaries from India and the East. During the same century, textiles in Spain were dyed using mordant dyes, a technique introduced by the Arabs, who in turn had adopted it from the Romans and Greeks [35].

Perhaps the most widely used red dye in history is madder. Madder (*Rubia tinctorum* L.) is derived from the roots of the plant, which is native to various regions around the world, from Europe, the Mediterranean, and the Near East to China and Japan. References to its use date back to antiquity. Herodotus mentions its application by an Egyptian woman around 450 BCE, while Pliny the Elder also discusses it in his work Natural History [36]. Madder has been found in numerous excavated and archaeological textiles from Egypt, as well as in Persia, Arabia, and Mesopotamia. The main coloring compounds in madder that were identified in the Canellopoulos Museum textiles include alizarin, purpurin, pseudopurpurin, and xanthopurpurin [37].

Weld (*Reseda luteola* L.) is obtained from the leaves and stems of the plant, which thrives in various parts of Central Europe and has also been cultivated in India. Its history is among the oldest known; documented as far back as the Neolithic period [38-39], weld was valued both for producing a brilliant yellow color and for creating stable green shades in combination with other dyes. Even before the discovery of America (1492), weld was the most widely used yellow dye in Western Europe. However, after around 1500, another plant-based dye, fustic, which produces indigo-derived colors, gained prominence. For a time, both dyes were used equally to produce yellow shades. The main chromophoric compounds in weld that were identified in the Canellopoulos Museum Coptic textile samples from the museum are the flavonoid compounds luteolin and apigenin [35].

Table 4. UHPLC-DAD analyses. Detected dye composition and related dye sources.

Sample	Date	Colour	Extraction	Dye composition	λ(nm)	Dye sources
D2550-1	7 th -8 th c. AD	Red	HCl	4 munjistin, 51 alizarin, 31 purpurin, 1 munjistin', 13 nordamnacanthal	255	Madder
D2550-2		Yellow	HCl	7 urolithin C, 73 luteolin, 3 apigenin, 1 chrysoeriol, 16 alizarin	255	Weld, madder, sappanwood
				94 luteolin, 5 apigenin, 1 chrysoeriol	350	
D2550-3		Black	HCl	Peaks at 8.6 - 9.5 - 10.6 rt (max 595-600 nm)	255	Synthetic dyestuff: acid black 1
			DMSO	-	255	
D2254-4	7 th -8 th c. AD	Orange	HCl	+ munjistin, 62 alizarin, 38 purpurin	255	Madder
D2554-5		Dark blue	HCl	64 isatin, 32 indigotin, 4 indirubin	255	Indigoid dye stuff
				22 isatin, 76 indigotin, 2 indirubin	288	
				100 indigotin	600	
			DMSO	100 indigotin	255	
				100 indigotin	288	
				100 indigotin	600	
D2557-6	7 th -8 th c. AD	White	HCl	-	255	No dyes detected

Furthermore, indigo and woad both have a rich historical significance as natural dyes. Indigo, a very common dye derived primarily from *Indigofera tinctoria* L. plants, has been exploited as a dye since antiquity. Archaeological evidence suggests that indigo was in use as early as the mid of third millennium BCE in Egypt as it was identified in mummies [40]. Woad, obtained by *Isatis tinctoria* L. plants, has also a long history as a dye stuff, particularly in Europe. The earliest prove of the application of woad on textiles dates back approximately 3500 years and it was discovered in Hallstatt, Austria [41]. The long history of both dyes highlights their importance in the production of early and later textiles and the dyeing techniques employed have been thoroughly documented in historical texts and through experimental archaeology [42].

D2550-1 red sample

In a red fiber from sample D2550, the detection of the anthraquinone dye molecules like alizarin, purpurin, and minor compounds like munjistin and nordamnacanthal points to the use of the roots of cultivated or dyer's madder (*Rubia tinctorum* L.) for red dyeing of this sample [40]. This plant belongs to the Rubiaceae family and is native to Europe, the Mediterranean, and parts of Asia. It has been cultivated for centuries for its ability to produce a range of red hues, from bright orange-red to deep crimson, depending on the dyeing technique and mordants used [35].

The chromatographic results for the anthraquinone dyes must be interpreted with caution, since several *Rubia* species can yield overlapping profiles. Previous work has shown that *Rubia peregrina* L. is generally characterised by low alizarin content (0-21 %) and relatively high rubiadin levels, whereas *R. tinctorum* L. typically presents more balanced proportions of alizarin and purpurin and lacks rubiadin (Wouters et al. 2008). Our samples with statistically lower alizarin values and relatively higher purpurin may therefore be consistent with the use of *R. peregrina* L., although alternative explanations such as dyeing technology (e.g., top-dyeing over indigo) or degradation processes cannot be excluded. Conversely, samples in which alizarin and purpurin are present in approximately equal amounts are more compatible with *R. tinctorum* L..

D2550-2 yellow sample

The main dye compound detected in the yellow fiber from D2550 sample is the flavone luteolin. It is found together with apigenin and chrysoeriol, which is characteristic to dyeing with the yellow dye plant weld (*Reseda luteola* L.) [43-45]. In addition, alizarin is also present, indicating a mixture with madder. Furthermore, evidence is found for a second red dye source based on the detection of urolithin C. This is a marker compound for dyeing with soluble redwood [46]. Given the historical context of the textile, this concerns sappanwood, the heartwood from tropical trees such as *Caesalpinia sappan* L. from the Orient. As this dye source is known to be less lightfast, the original colour of this currently yellow yarn must have been more red [47].

For the luteolin-based yellows, it is likewise difficult to assign the source to a single plant, since luteolin is present in a wide range of dye plants (e.g., *Reseda luteola* L., *Genista* spp., *Anthemis* spp.). Nevertheless, comparison with reference profiles and the known dye repertoire of the region suggests that weld (*Reseda luteola* L.) is the most plausible source, although other flavonoid-containing plants cannot be ruled out.

D2550-3 black sample

The black colour of the black fiber from textile D2550 (Figure 9) was obtained by dyeing with a dyestuff from synthetic origin. The spectral data of the detected peaks is very similar to the one of acid black 1, also known as amidoblack (Colour Index number 20470), a diazo dye first developed by M. Hoffmann in 1891 [48]. A second analysis was done on a DMSO solvent extract of the black sample which confirmed the absence of any indigoid dye compound in the sample. This might be an indication of a modern conservation treatment on the textile using a modern synthetic fiber.



Figure 9. Textile D550 and the detail where the sample D2550-3 was taken.

D2554-4 orange sample

For the orange fiber coming from the textile D2554 the detection of alizarin, purpurin, and munjistin refers to the use of the roots of cultivated or dyer's madder (*Rubia tinctorum* L.) in this very sample. As mentioned above, dyer's madder can produce a range of red hues, from bright orange-red to deep crimson, depending on the process [47].

D2554-5 dark blue sample

The analysis of a dark blue fiber from textile D2554 reveals the presence of indigotin, indirubin and isatin indicating thus employment of an indigoid dye source. Based on this result, a second analysis on a DMSO solvent extract of the same yarn was performed to obtain an improved extraction of (either or not brominated) indigoid dye compounds. This analysis confirmed the presence of indigotin but did not reveal any brominated compounds. Hence, it can be concluded that the dark blue was obtained by dyeing with either indigo (*Indigofera* or *Polygonum* species) or woad (*Isatis tinctoria* L.) [47]. As the same dye compounds are found after chromatographic analyses of textiles dyed with both types of plants, distinction between the two is not possible.

D2557-6 white sample

Finally, for a white fiber from sample D2557 as expected, no evidence for dyeing of the white sample was found.

Conclusions

The use of different scientific techniques, such as OM, hh-XRF and, UHPLC, has proven to be incredibly valuable in studying ancient textiles and in particular Coptic textiles. These complementary analytical methods play a significant role in helping researchers understand the materials, production techniques, and the history behind these fabrics.

In this study, OM was used to confirm that wool, as the raw material most commonly used in Coptic weaving tradition, was also used in the Coptic textiles from the Paul and Alexandra Canellopoulos Museum.

XRF analysis provided further insight by revealing the presence of different elements in the textiles in a non-invasive manner. Of particular interest is the detection of Sr: this element that can be used as a provenance indicator, and in the current study the corresponding data clearly show that one of the studied fragments deviates substantial in regards to Sr content. Elements such as iron, copper, calcium, potassium and aluminum, offer evidence about the dyeing methods used in antiquity and the environmental conditions that affected the textiles over time. Some of these elements, like aluminum and potassium, likely pertain to mordants, namely the substances that were used to fix dyes to the fabric and enhance color durability. In particular, a single fragment (D2554) shows notably enhanced Cu content which can be related either to particular burial conditions (i.e. proximity to bronze item), or to the use of a Cu-containing mordant. Nevertheless, since other elements like silicon, calcium, titanium and manganese pertain to contamination from the soil where the textiles were buried for hundreds of years, a further and more elaborate analysis is required in order to reach to conclusive results as for the employed mordants.

Ultra High-Performance Liquid Chromatography (UHPLC) was particularly useful for identifying the dyes in selected samples. This method helped confirm the use of well-known historical dyes commonly found in Coptic textiles. In particular, madder (*Rubia tinctorum* L.) was used to create red shades, indigo (*Indigofera* species) provided blue tones, and weld (*Reseda luteola* L.) was likely responsible for yellow hues. These findings align with traditional dyeing practices in Egypt and the surrounding Medi-terranean region during late antiquity and the early Islamic period. Additionally, the detection of modern synthetic dyes highlights the existence of previous conservation interventions.

By combining these different techniques, it was possible to gain a deeper understanding of how these textiles were made, dyed, and preserved over the centuries. The ability to analyze ancient fabrics without affecting the state of preservation and integrity of the artifacts is crucial for both archaeological research and textile conservation.

In the context of conservation, the analytical characterization of the Coptic fragments has direct implications for their care and management within the museum environment. The identification of specific fiber types and dye materials enables conservators to anticipate deterioration mechanisms and to design appropriate preventive measures regarding light, humidity, and pollutant control. Furthermore, the recognition of original manufacturing techniques and later alterations offers valuable guidance for future conservation treatments and display decisions. Thus, the study not only enriches the historical understanding of these textiles but also provides a scientific foundation for their sustainable preservation.

Acknowledgements

The authors acknowledge the support and help of Dr Nikolas Papadimitriou Director of the Paul and Alexandra Canellopoulos Museum for permitting the study of the Coptic textiles. In addition, the authors would like to thank the authorities for issuing the permit to conduct the slightly invasive analysis. Finally, authors acknowledge the

contributions of Ina Vanden Berghe and Maaïke Vandenbergh for performing the HPLC analyses at KIK-IPRA Textile Research lab.

REFERENCES

- Amin, M., 'Notes on two children's tunics in the Coptic Museum, Cairo', *International Journal of Heritage, Tourism and Hospitality* **15**(2) (2021) 106-114, <https://doi.org/10.21608/ijth.2022.250788>.
- Mabrouk, N., 'Investigation and analysis of two coptic textile fragments in the agricultural museum in Egypt', *Shedet* **7**(7) (2020) 277-297.
- Margariti, C.; Moraitou, S.; Retsa, M., 'Overview of textiles excavated in Greece', in *Textiles: History, properties and performance and applications*, ed. I. H. Mondal, Nova Science Publisher, New York (2014) 259-276.
- Karydis, C., *Introduction to the preventive conservation of textile works of art*, Futura, Athens (2006).
- Skampavias, K.; Chatzidaki, N. (eds), *Paul and Alexandra Canellopoulos Museum. Byzantine and Post-Byzantine art*, P. & A. Canellopoulos, Athens (2007).
- Brouskari, E., 'The textiles in Paul and Alexandra Canellopoulos Museum', in *CAMU 1 - Byzantine, Medieval and Modern studies - the centenary of the Paul and Alexandra Canellopoulos Collection*, eds. E. Gerousi, P. Petridis, A. Bekiaris & N. Papadimitriou N., Paul and Alexandra Canellopoulos Museum, Athens (in press).
- Völker, A., 'Late antique and early Islamic textiles', in *Fragile remnants. Egyptian textiles of Late Antiquity and Early Islam*, ed. P. Noever, Hatje Cantz, Vienna (2005) 9-18.
- Amin, E., 'The documentation and treatment of a Coptic child's tunic in Egypt', *Egyptian Journal of Archaeological and Restoration Studies* **9**(1) (2019) 1-11, <https://doi.org/10.21608/EJARS.2019.38423>.
- Cooper, T.; Morris, M., 'Egypt, and Coptic Textiles', *Art History* **47**(1) (2024) 98-124, <https://doi.org/10.1093/arthis/ulae004>.
- Thomas T. K., 'Coptic and Byzantine textiles found in Egypt: corpora, collections, and scholarly perspectives', in *Egypt in the Byzantine world 300-700*, ed. R. S. Bagnall, Cambridge University Press, Cambridge (2007) 137-162.
- Ball, J. L., *Byzantine dress: representations of secular dress in eighth- to twelfth-century painting*, Palgrave MacMillan, New York (2005).
- Bailleul-LeSuer, R., *Between heaven and earth: birds in ancient Egypt*, The Oriental Institute of the University of Chicago, Chicago (2012).
- Alexiou, K.; Margariti, C.; Loukopoulou, P., 'From the burial to the textile conservation lab: the case of a late Roman charred textile from Katapola Amorgou', in *Proceedings of the conference "Textile"*, eds. P. Adam-Veleni, D. Karolidis, A. Arvanitaki Archaeological Museum of Thessaloniki, publication no 34, Thessaloniki (2017) 31-37.
- Chaves, L. de, 'An investigation on a Coptic embroidered panel from the 13th century "Crucifixion with the Twelve Apostles" (Benaki Museum, Athens)', *Heritage* **4**(4) (2021) 4335-4343, <https://doi.org/10.3390/heritage4040239>.
- Karapanagiotis, I.; Abdel-Kareem, O.; Kamaterou, P.; Mantzouris, D., 'Identification of dyes in Coptic textiles from the Museum of Faculty of Archaeology, Cairo University', *Heritage* **4**(4) (2021) 3147-3156, <https://doi.org/10.3390/heritage4040176>.
- Karydis C.; Oikonomou A.; Konstanta A., 'The unpublished Coptic textiles of the monastery of St. John the Theologian: preliminary results of previous alterations and scientific analysis', *Journal of Mediterranean Archaeology and Archaeometry* **19** (2019) 133-142, <https://doi.org/10.5281/zenodo.2585999>.
- Bonizzoni, L., 'ED-XRF analysis for cultural heritage: is quantitative evaluation always essential?', *Journal of Physics: Conference Series* **630** (2015) 012001, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/630/1/012001>.
- Luciani, G.; Pelosi, C.; Agresti, G.; Monaco, A. L., 'How to reveal the invisible. The fundamental role of diagnostics for religious painting investigation', *European Journal of Science and Theology* **15**(3) (2019) 209-220.
- Vanden Berghe, I.; Vandenbergh, M., *KIK-IPRA analysis report dye identification of Coptic textiles of the Canellopoulos Museum*, Athens (2024).
- Wouters, J., 'High performance liquid chromatography of anthraquinones: analysis of plant and insect extracts and dyed textiles', *Studies in Conservation* **30**(3) (1985) 119-128, <https://doi.org/10.1179/sic.1985.30.3.119>.
- Surowiec, I.; Quye, A.; Trojanowicz, M., 'Liquid chromatography determination of natural dyes in extracts from historical Scottish textiles excavated from peat bogs', *Journal of Chromatography A*, **1112**(1-2) (2006) 209-217, <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.11.019>.
- Zhang X.; Laursen R.A., 'Development of mild extraction methods for the analysis of natural dyes in textiles of historical interest using LC-diode array detector-MS', *Analytical Chemistry* **77**(7) (2005) 2022-2025, <https://doi.org/10.1021/aco48380k>.
- Vanden Berghe, I.; Gleba, M.; Mannering, U., 'Towards the identification of dyestuffs in early Iron age Scandinavian peat bog textiles', *Journal of Archaeological Science* **36**(9) (2009) 1910-1921, <https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.04.019>.
- Tamburini, D.; Dyer, J.; Cartwright, C.; Green, A., 'Changes in the production materials of Burmese textiles in the nineteenth century-dyes, mordants and fibres of Karen garments from the British Museum's collection', *Heritage Science* **11** (2023) 150, <https://doi.org/10.1186/s40494-023-00978-5>.
- Keijzer, R.; Bommel, M. R.; Joosten, I., 'Dyestuff and element analysis on textiles from the prehistoric salt mine of Hallstatt', in *Hallstatt textiles. Technical analysis, scientific investigation and experiment on Iron Age textiles*, eds. P. Bichler, K. Grömer, R. Hofmann-de Keijzer, A. Kern & H. Reschreiter, BAR International Series 1351, Archaeopress, Oxford (2005) 55-72.
- Wilczyńska-Michalik, W.; Michalik, M., 'Celestite in the weathering crust on limestone exposed to an urban atmosphere in Cracow (Poland)', *Mineralogia* **37**(2) (2006) 133-142, <https://doi.org/10.2478/v10002-007-0011-z>.
- Franceschi, E.; Locardi, F., 'Strontium, a new marker of the origin of gypsum in cultural heritage', *Journal of Cultural Heritage* **15**(5) (2014) 522-527, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2013.10.010>.

28. Frei, K. M.; Frei, R.; Mannering, U.; Gleba, M.; Nosch, M. L.; Lyngstrøm, H., 'Provenance of ancient textiles- a pilot study evaluating the strontium isotope system in wool', *Archaeometry* **51**(2) (2009) 252-276, <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2008.00396.x>.
29. Patkowska-Sokoła, B.; Dobrzański, Z.; Osman, K.; Bodkowski, R.; Zygodlik, K., 'The content of chosen chemical elements in wool of sheep of different origins and breeds', *Archives Animal Breeding* **52**(4) (2009) 410-418, <https://doi.org/10.5194/aab-52-410-2009>.
30. Tagliabue, G.; Masseroli, A.; Ern, S. I. E.; Comolli, R.; Tambone, F.; Cattaneo, C.; Trumbino, L., 'The fate of phosphorus in experimental burials: chemical and ultramicroscopic characterization and environmental control of its persistency', *Geosciences* **13**(2) (2023) 24, <https://doi.org/10.3390/geosciences13020024>.
31. Sabatini, F.; Bacigalupo, M.; Degano, I.; Javér, A.; Hacke, M., 'Revealing the organic dye and mordant composition of Paracas textiles by a combined analytical approach', *Heritage Science* **8** (2020) 122, <https://doi.org/10.1186/s40494-020-00461-5>.
32. El Jeddaoui, B.; Fikri, I.; Oubelkacem, Y.; El Bakkali, A.; Lamhasni, T.; Amechrouq, A.; Haddad, M.; Tomasini, P.; Nodari, L.; Campanella, B.; Legnaioli, S.; Poggialini, F.; Bicchieri, M.; Lyazidi, S. A., 'Integrated analytical approach for the characterisation of dyed wool fibres in the earliest Moroccan carpet', *European Physical Journal Plus* **140** (2025) 710, <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-025-06628-y>.
33. Szentmiklósi, L.; Maróti, B.; Csákvári, S.; Calligaro, T., 'Position-sensitive bulk and surface element analysis of decorated porcelain artifacts', *Materials* **15**(15) (2022) 5106, <https://doi.org/10.3390/ma1515106>.
34. Trojanowicz, M.; Orska-Gawryś, J.; Surowiec, I.; Szostek, B.; Urbaniak-Walczak, K.; Kehl, J.; Wróbel, M., 'Chromatographic investigation of dyes extracted from Coptic textiles from the National Museum in Warsaw', *Studies in Conservation* **49**(2) (2004) 115-130, <https://doi.org/10.1179/sic.2004.49.2.115>.
35. Hofenk de Graff, J., *The colourful past. Origins chemistry and identification of natural dyestuffs*, Archetype Publications, London (2004).
36. Pliny the Elder, *Περὶ τῆς ἀρχαίας ἐλληνικῆς ζωγραφικῆς*, trad. T. Roussos and A. Levidis, Agra Publications, Athens (1994).
37. Szostek, B.; Orska-Gawryś, J.; Surowiec, I.; Trojanowicz, M., 'Investigation of natural dyes occurring in Coptic textiles by high-performance liquid chromatography with UV-Vis and mass spectrometric detection', *Journal of Chromatography A* **1012**(2) (2003) 179-192, [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(03\)01170-1](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(03)01170-1).
38. Santo, M.; Cardon, D.; Teixeira, N.; Nabais, P., 'Yellow dyes of historical importance: a handful of weld yellows from the 18th-century recipe books of French master dyers Antoine Janot and Paul Gout', *Heritage* **6**(12) (2023) 7466-7481, <https://doi.org/10.3390/heritage6120391>.
39. Grömer, K., *The art of prehistoric textile making. The development of craft traditions and clothing in Central Europe*, Natural History Museum of Vienna, Vienna (2016).
40. Aino, K.; Hirota, K.; Okamoto, T.; Tu, Z.; Matsuyama, H.; Yumoto, I., 'Microbial communities associated with indigo fermentation that thrive in anaerobic alkaline environments', *Frontiers in Microbiology* **9** (2018) 2196, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02196>.
41. Cardon, D., 'Le pastel en languedoc, une histoire qui ne finit jamais', *Annales du Midi: revue archéologique historique et philologique de la France méridionale* **132**(309-310) (2020) 69-88, <https://doi.org/10.3406/anami.2020.9018>.
42. Cardon, D.; Koren, Z. C.; Sumi, H., 'Woaded blue: a colorful approach to the dialectic between written historical sources, experimental archaeology, chromatographic analyses, and biochemical research', *Heritage* **6**(1) (2023), 681-704, <https://doi.org/10.3390/heritage6010037>.
43. Wouters, J.; Vanden Berghe, I.; Richard, G.; Breniauxm, R.; Cardon, D., 'Dye analysis of selected textiles from three Roman sites in the Eastern desert of Egypt: a hypothesis on the dyeing technology in Roman and Coptic Egypt', in *Dyes in History and Archaeology* 21, ed. Jo Kirby, Archetype Publications, London (2008) 1-16.
44. Peggie, D. A.; Hulme, A. N.; McNab, H.; Quye, A., 'Towards the identification of characteristic minor components from textiles dyed with weld (*Reseda luteola* L.) and those dyed with Mexican cochineal (*Dactylopius coccus* Costa)', *Microchimica Acta* **162** (2008) 371-380, <https://doi.org/10.1007/s00604-007-0866-0>.
45. van der Klift, E.; Villela, A.; Derksen, G. C. H.; Lankhorst, P. P.; van Beek, T. A., 'Microextraction of *Reseda luteola*-dyed wool and qualitative analysis of its flavones by UHPLC-UV, NMR and MS', *Molecules* **26**(13) (2021) 3787, <https://doi.org/10.3390/molecules26133787>.
46. Cardon, D., *Natural dyes. Sources, tradition, technology and science*, Archetype Publications, London (2007).
47. Peggie, D. A.; Kirby, J.; Poulin, J.; Genuit, W.; Romanuka, J.; Wills, D. F.; De Simone, A.; Hulme, A., 'Historical mystery solved: a multi-analytical approach to the identification of a key marker for the historical use of brazilwood (*Caesalpinia* spp.) in paintings and textiles', *Analytical Methods* **10**(6) (2018) 617-623, <https://doi.org/10.1039/C7AY02626A>.
48. *Colour index*, 3rd edition, The society of dyers and colourists, Lund Humphries, Bradford and London (1971).

RECEIVED: 2025.2.20

REVISED: 2025.8.11

ACCEPTED: 2026.2.11

ONLINE: 2026.9.13



This work is licensed under the Creative Commons

Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

To view a copy of this license, visit

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>.

Blooming in polyurethane-coated fabrics: a literature review of a conservation challenge in collections

Blooming em tecidos revestidos com poliuretano: uma revisão da literatura sobre um desafio de conservação em coleções

INÊS SOARES 
JOANA TOMÁS FERREIRA 
MARIANA PASSOS 
SUSANA FRANÇA DE SÁ * 

LAQV-REQUIMTE and
Department of Conservation and
Restoration, NOVA School of
Science and Technology, NOVA
University of Lisbon, 2829-516
Caparica, Portugal

*susana.sa@fct.unl.pt

Abstract

This article presents a critical literature review on blooming in thermoplastic polyurethane (TPU)-coated fabrics. Blooming, typically described as whitish surface deposits, is a common deterioration phenomenon in TPUs in fashion and design collections. Drawing on polymer science, industrial sources, and heritage conservation studies, the review examines how blooming has been defined, investigated, and addressed in conservation practice. The literature identifies two recurrent mechanisms to explain blooming: additive migration as a physical process and hydrolysis as a chemical process. The latter, which is more commonly reported in heritage TPU artefacts, often results in the formation of adipic acid. Studies focusing on conservation remain extremely limited, with only a few case studies addressing cleaning and storage. The review highlights variability in terminology, proposed causes, and reported practices across the published literature. By synthesizing current knowledge and identifying key gaps, this article supports the development of interdisciplinary conservation strategies.

Resumo

Este artigo apresenta uma revisão crítica da literatura sobre o *blooming* em tecidos revestidos com poliuretano termoplástico (TPU). O *blooming*, tipicamente descrito como depósitos esbranquiçados à superfície, constitui um fenómeno de deterioração comum em TPUs de coleções de moda e design. Com base em estudos da ciência dos polímeros, fontes industriais e investigação em conservação, analisa-se como o *blooming* tem sido definido, investigado e abordado na prática da conservação. A literatura identifica dois mecanismos recorrentes para o *blooming*: a migração de aditivos como processo físico, e a hidrólise como processo químico, frequentemente associada à formação de ácido adípico. Estudos centrados em conservação permanecem limitados, existindo poucos casos focados na limpeza e no acondicionamento. A revisão evidencia variabilidade na terminologia, nas causas e nas práticas de conservação descritas na literatura. Ao sintetizar o conhecimento atual e identificar as principais lacunas, esta revisão contribui para o desenvolvimento de estratégias interdisciplinares de conservação.

KEYWORDS

Plastics
Textiles
Whitish deposits
Fashion
Design
Adipic acid

PALAVRAS-CHAVE

Plásticos
Têxteis
Depósitos esbranquiçados
Moda
Design
Ácido adípico

Introduction

Since the mid-twentieth century, synthetic polymers have played a central role in material culture, industry, fashion, design, and art [1-2]. Among them, polyurethanes stand out for their versatility, resulting from an adaptable chemistry based on diisocyanates, polyols, and chain extenders, which enables a wide range of mechanical and aesthetic properties and applications, from coatings and foams to elastomers and adhesives [3-5].

Thermoplastic polyurethanes (TPU) gained commercial relevance particularly from the 1960s onwards, since they offered a unique combination of functional performance and aesthetic versatility. TPUs offer elasticity, abrasion resistance, and durability, and can be manufactured as lightweight, waterproof, and breathable materials, enabling competition with traditional substrates such as leather [6-8]. In addition, TPU manufacturing allows for a wide range of surface finishes ranging from transparent to opaque, smooth to textured, highly glossy to matte, including metallic finishes. This combination of functional properties, aesthetic variability, and material accessibility supported their widespread application in fashion and design [5, 9-12].

The production of TPU-coated fabrics is inherently complex, involving multiple manufacturing and coating application processes, resulting in final products with varying layer thicknesses, morphologies, and surface aesthetics. In addition, these materials are composite systems, typically consisting of a fabric or leather substrate combined with one or more coating layers, in which the outermost layer (and in some cases additional ones) is composed of TPU. Fabric substrates may be woven, nonwoven, or knitted, and are mostly composed of cotton or polyester fibers. The coating layer(s) may have either compact or microporous morphologies, the latter including foam or coagulated structures. In the presence of more than one coating layer, intermediate layers can be added, for example, to enhance adhesion or provide a cushioning effect [13-14]. The various combinations of material composition and manufacturing processes of the entire coated fabric stratigraphy, particularly of the outermost TPU layer, may influence the long-term stability of the material [13-14].

Within the cultural heritage context, long-term deterioration issues, which were not initially apparent or even anticipated during production, become increasingly visible as the material ages. Numerous factors such as chemical formulation, aging time, environmental conditions, and even previous wear/use, might contribute to degradation, revealing their highly challenging nature.

One of the most common degradation phenomena in TPU-coated fabrics is blooming [6, 15], which appears as whitish deposits on the coating's surface (Figure 1), particularly in those formulated with aromatic diisocyanates and polyester polyols [16].



Figure 1. Details of blooming deposits on polyurethane-coated fabrics illustrating different visual manifestations of blooming: a) powder-like deposits; b) dense and dispersed deposits; c) haze-like deposits.

This damage can dramatically change the visual identity of the affected object, compromising the designer's intent and its exhibition value [17]. Although increasingly present in museum collections, TPU-coated fabrics have received limited scholarly attention, with only a small number of isolated conservation studies published over the past two decades [6, 16-23]. Therefore, blooming remains poorly understood, particularly in terms of its chemical variability, underlying causes and mechanisms, and the impact of conservation strategies intended to mitigate or reverse its effects, leaving conservators with limited reference tools.

This dispersed and limited knowledge on blooming in TPU highlighted the need for a more systematic and interdisciplinary investigation into the phenomenon. In response, the *InBloom* project (2025-2026) [24] aimed to tackle this knowledge gap. Given the growing number of affected objects reported in the literature and the limited consolidated information on this phenomenon, a comprehensive review of blooming in TPU-coated fabrics is presented.

Therefore, this work aims to synthesize interdisciplinary definitions of blooming in TPU and to examine the mechanisms proposed for its development, with particular attention to the role of coating formulations and additives from an industrial perspective. It brings together documented heritage case studies of TPU-coated fabrics exhibiting blooming, and critically compares the analytical approaches used to characterize both the coatings and the surface deposits. Given the limited number of studies available, selected case studies involving TPU elastomers are also considered, as their material similarity provides complementary insights. Finally, this research discusses reported preventive and active conservation strategies, with particular emphasis on cleaning approaches, and highlights key gaps in knowledge regarding their long-term effectiveness.

Methodology

This review is based on a structured critical analysis of the literature addressing blooming in TPU-coated fabrics, particularly on fashion and design case studies, and textile industry and polymer science literature. This study has been designed to compile existing knowledge, identify points of convergence, divergence, and limitations, as well as reveal how blooming has been defined, interpreted, and addressed across different disciplinary contexts, in order to support conservation decision-making.

Literature search strategy and study limitations

The literature search was conducted using physical library resources and online databases, including Web of Science, B-on, Google Scholar and Google Patents. The search was conducted in English using combinations of keywords related to the material, damage phenomena, and application context, including: thermoplastic polyurethane, TPU-coated fabric, polyurethane coating, blooming, adipic acid, efflorescence, surface deposit, whitish deposit, white crystals, hydrolysis, migration, fashion, design, and museum collections. Reference lists of relevant publications were also considered to identify additional sources not found through database searches.

Given the interdisciplinary nature of the topic and the limited number of peer-reviewed studies focused on fashion and design, additional sources, including conference proceedings, theses, technical reports, project documentation, and personal communications, were considered when presenting relevant data. These choices reflect the limitations of the study. Even so, the methodology used enables a critical synthesis of current knowledge and highlights significant research gaps

Results and discussion

Defining blooming in TPU across disciplines

This section does not seek to establish a single or normative definition of blooming, but rather to map how the term has been used and interpreted across different disciplinary, temporal, and material contexts.

The term blooming has been used in different ways across polymer science, industrial engineering, and heritage conservation, even in the context of TPU materials. Despite this variation, the fields still share overlapping views and complementary insights into the same phenomenon.

In engineering and polymer science, blooming is generally described as a migration phenomenon. Seah and Dasari (2025) [25] describe it as “the chemical migration phenomenon in which additives, pigments, and/or plasticizers in the polymer migrate to the surface as a result of phase separation (limited solubility) in the host polymer”. The process is expressed in terms of kinetics driven by temperature and concentration gradients, and for additives, such as plasticizers, it involves their diffusion onto the material surface, followed by evaporation. Similarly, IUPAC (2004) [26] defines blooming as the “process in which one component of a polymer mixture, usually not a polymer, undergoes phase separation and migration to an external surface of the mixture”. Wypych [27] further frames it as a solid-gas interface phenomenon resulting from the migration of stabilizers or plasticizers, which can, in severe cases, produce droplets due to incompatibility between the additive and the polymeric matrix.

In the coating and textile industries, blooming is considered an undesirable visual defect that compromises the appearance of TPU surfaces, often described as “surface haze” or “surface fogging” [28-29]. Patent literature [28-29] highlights this as a recurrent challenge, acknowledging the efforts to mitigate blooming appearance. Similar to the previous disciplines, it is identified as a consequence of the migration of low-molecular-weight species, such as cyclic polyester oligomers [30]. Technical data sheets for water-based TPU coating systems warn that incomplete water evaporation may cause “hazing/blooming”, recommending the use of a retarder thinner to mitigate its appearance [31]. Fung [13] describes blooming as an unacceptable surface “discoloration effect”, caused by additive migration, namely, ammonium stearate. Thus, industry defines blooming mainly by the mechanism that causes it, rather than through detailed morphological descriptions, framing it as a production or formulation issue.

On the other hand, in the heritage conservation field, definitions have historically emphasized the visual appearance of blooming, while also describing possible causes for its appearance in some cases. The *POPART* project (2012) [21] describes bloom as a “whitish deposit with crystalline aspect”. Other early descriptions refer to “white crystals”, “white degradation product” [32], “powdery deposit on the surface of objects (...) usually caused by the migration of additives” [33] or a “white or grey matte film covering surfaces”, linked to the “migration of antioxidants to surfaces”, particularly in synthetic rubbers [2]. Some of these definitions overlap with that of “chalking”, defined as “white powder on surfaces”, resulting from “separation of pigment or filler from polymer” [2], making the terminology ambiguous. França de Sá [20] also described blooming on TPU-coated garments as “white powder at the surface (chalking)”, reflecting this overlapping in terminology.

In a more recent study, Krieg et al. [34] emphasized the potential for misdiagnosing blooming as mold, highlighting the importance of accurate identification. The authors also categorize previous descriptions of blooming into two distinct forms: crystalline and amorphous. The crystalline form is visible to the naked eye as a shiny efflorescence, usually white, caused by migrated additives or degradation products. In contrast, the amorphous form is not visibly crystalline, having a matte, waxy, and powdery whitish-grey appearance.

Within the context of the *Glossy Surfaces* project, blooming was described in relation to coated fabrics as the occurrence of “whitish surface deposits that can evolve to a more

crystalline appearance over time” [6]. Multiple analytical studies have identified adipic acid in surface deposits, describing it as blooming, and have interpreted its presence as related to the chemical aging of polyester-based TPUs [6, 15, 17, 20, 35-36]. Its presence is related to the hydrolytic and thermal degradation of the polyester polyol in humid environments [37-38]. Polyester polyols are typically synthesized from adipic acid and diols such as ethylene glycol or 1,4-butanediol. The hydrolysis of the ester linkage causes the ester to revert to the precursor acid and alcohol raw compounds. Once formed, adipic acid further catalyzes hydrolysis by lowering the local pH (~2.7 in aqueous extracts), creating an autocatalytic process [4, 10, 17].

Although similar interpretations do not appear in polymer science or industry literature, to the best of the authors' knowledge, they were first articulated in a conservation context by van Oosten et al. [39]. Through artificial aging, it was demonstrated that polyester polyurethane foams hydrolyze into their basic components, decomposing them into adipic acid (and, under more extreme conditions, polyol fragments). Although adipic acid was widely identified in polyester-based polyurethane foams [20, 39-40], it does not appear as blooming on the surface because it remains trapped within the foam's porous structure. This contrast highlights the particular challenge of polyester-based TPU coatings, in which these deposits readily form on the surface.

The broad use of the term blooming in TPUs across disciplines, and sometimes overlapping with other terms, reflects two complementary but context-dependent explanatory models. In polymer science, engineering, and industry, blooming is typically described as the migration or phase separation of pre-existing low-molecular-weight compounds, an issue more related to relatively newly produced materials, which can be mitigated through formulation adjustments. On the other hand, in heritage conservation and degradation studies, blooming is mostly associated with the appearance of whitish deposits at the surface, and particularly in polyester-based TPU, related to its chemical aging and hydrolytic cleavage. These mechanisms may co-exist or occur sequentially, hindering diagnosis. The interdisciplinary comparison highlights how similar visual symptoms described as blooming have been interpreted through different explanatory frameworks, depending on disciplinary context and the material condition of the objects under study.

Industrial context: the influence of TPU formulation on blooming appearance

Nowadays, it is recognized that TPU chemistry, full coating formulation, and processing significantly prefigure the aging patterns observed in collections today [2]. Chemically, TPUs are synthesized from aromatic or aliphatic diisocyanates and mainly with polyester- or polyether-based polyols, extended with short-chain glycols or diamines. These raw materials, along with a broad range of additives, are blended into homogeneous coating pastes or resins that are uniformly applied to fabric or leather substrates [13, 41]. Coupling agents and adhesion promoters improve cohesion within the coating and at the polymer-textile interface, while plasticizers, stabilizers, pigments, and fillers fine-tune processability and appearance [13, 27, 42].

The selection of monomers, as well as additives added to the formulation, determines the mechanical properties and influences the long-term stability of the polymer [4, 11]. For instance, aromatic diisocyanates, such as toluene diisocyanate (TDI) and methylene diphenyl diisocyanate (MDI), offer superior strength and cost efficiency than aliphatic diisocyanates, but tend to yellow under light exposure. Multilayer constructions, combining aromatic intermediate layers with aliphatic top coatings (usually hexamethylene diisocyanate, HDI, or isophorone diisocyanate, IPDI) were introduced to enhance light stability at lower cost [4-5, 11]. Similarly, the polyol backbone determines hydrolytic resistance, as polyester-based TPUs are more prone to hydrolysis under humid conditions than polyether polyols, leading to the structural weakening of the polymer [5, 13]. Additives can also cause instability, as poorly matched low-molecular-weight components can migrate over time, leading to phase

separation and surface alterations such as tackiness, sweating, haziness, or whitish efflorescence [9, 25, 27, 42-43].

In the assessed literature, the occurrence of blooming is not linked to the manufacturing methods used to produce TPU-coated fabrics, nor to the fabric or leather substrates or the existence of intermediate layers. Instead, and depending on the research field, blooming is consistently associated with one of two mechanisms: the migration of additives (physical process), in the case of textile and coating industries; or with hydrolysis-derived degradation products appearing on the materials' surface (chemical process), mainly in heritage conservation. In any case, both associated causes indicate that their origin lies in the raw materials and chemical composition of the TPU coating formulation.

Although TPUs are inherently flexible due to their segmented block structure, external plasticizers might be added, especially in fashion and design contexts, to modify processability and appearance [44-45]. For instance, Tomás Ferreira et al. [45] identified, for the first time, di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) in three case studies composed of aromatic polyester-based TPU-coated fabrics. In these cases, DEHP was suggested to be present either as a contaminant, plasticizer in the TPU coating, or as a plasticizer from an intermediate layer, possibly a plasticized poly(vinyl chloride) (p-PVC). Polymer science handbooks have already discussed that plasticizers' permanence within the polymer matrix depends on their molecular weight, polarity, and compatibility with the host matrix [27, 44]. In addition, experimental studies show that diffusion and evaporation of plasticizers are influenced by temperature, plasticizer chemistry, the gas flow rate above the surface, and the volume of gas surrounding the material [43]. Even stabilizer or catalyst residues can contribute to polymer degradation in the long term [18].

Industry itself acknowledges the occurrence of blooming in TPU coatings used in coated fabrics, highlighting both the relevance and urgency of this issue. Technical reports and manufacturers' data sheets mention the possible appearance of whitish deposits or surface haze shortly after TPU production or during storage. In an industry site visit, Silva [46] shared a technical data sheet from TUBICOAT MP (CHT) – not publicly available – stating: “(...) es posible que se produzca un ‘velo gris’ en tiempos de almacenamiento prolongados sobre la superficie recubierta”, meaning that a “grey haze” may develop on the coated surface after prolonged storage periods. The textile industry monitors this issue through fogging or emission tests [47], which measure volatile and condensable compounds in polymeric materials responsible for surface haze. Standards such as ISO 6452:2021, and equivalent ASTM or DIN procedures, are routinely used to assess the stability of coated fabrics, particularly in the automotive sector, underscoring industry-wide awareness of blooming-related phenomena [47].

Recent patents further frame blooming specifically in polyester-based TPUs, describing it as “surface haze” or “surface fogging” [28, 30] arising from the migration of low-molecular-weight species (notably cyclic polyester oligomers, by-products of polyol synthesis) [30] and propose compositional routes to suppress it. A series of patents by Farkas et al. describes TPUs in which the hydroxyl-terminated polyester intermediate is a poly(trimethylene adipate) glycol derived from 1,3-propylene glycol (or, optionally, from a bio-based 1,3-propylene glycol) and adipic acid [28]. In the examples described, these polyols, combined with a diisocyanate such as MDI, and a glycol chain-extender like 1,4-butanediol, remain largely blooming-free after four years of aging [29]. In contrast, comparable TPUs based on poly(tetramethylene adipate) glycol, derived from 1,4-butanediol adipate and produced under identical processing conditions, exhibited moderate to heavy blooming, which could be partially removed by simple rubbing of the surface [29]. Reduced levels of blooming can be achieved without the inclusion of monofunctional long-chain alcohols previously used to suppress blooming, relying solely on the specific polyester intermediate, standard chain-extender, and diisocyanate combination [28]. The European (EU) patent counterpart [48] also mentions the same low-bloom TPU architecture for the EU market. Overall, in these patents, the reduction of surface haze or

blooming is achieved through compositional control by limiting the presence of migratable species.

Other recent patents, such as WO 2017/040505 A1 [30], address blooming in TPUs by identifying cyclic polyester oligomers, formed as by-products during polyester polyol synthesis, as the primary migratable species responsible for surface haze or visible bloom. The invention proposes the enzymatic treatment of polyester polyols with lipases or cutinases at moderate temperatures to selectively cleave these cyclic oligomers, thereby reducing their content in the final TPU material. Formulations prepared from polyester polyols with reduced cyclic oligomer levels exhibit a significantly diminished tendency to bloom [30].

Within this corpus of EU and U.S. patents, blooming is thus consistently attributed to the migration of pre-existing low-molecular-weight species. Overall, industrial patents emphasize compositional control and polyol design (polymer architecture, molecular weight, and cyclic oligomer content) as the main strategies for reducing the appearance of blooming. In contrast, heritage conservation-science studies, further addressed below, tend to associate blooming in TPU with the formation of acidic hydrolysis products, appearing as white efflorescence on the surface of aged TPU-coated fabrics, indicating that hydrolytic chain cleavage may act as an additional degradation pathway for blooming development.

Cultural heritage context: case studies on blooming in TPU-coated fabrics and rubbers

Within cultural heritage, most references published prior to 2020 generally mention blooming as a degradation phenomenon characterized by whitish deposits occurring in rubbers and plastics [2, 21, 33], with only three studies addressing it specifically in TPU-coated fabrics in fashion. Lavédrine et al. [21, 49] described a striking case from *La Valise des Nouveaux Réalistes* (1973) by Arman and other artists, in which a polyester-based TPU-coated fabric exhibited a thick white blooming. Pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry (Py-GC/MS) and Fourier transform infrared (FTIR) analysis of the deposits identified cyclopentanone and MDI derivatives, confirming blooming as degradation products of polyester-based TPU chains.

In 2014 and 2017, França de Sá and co-authors [20, 32] studied two historical garments by the designer André Courrèges from MUDE (Museu do Design, Portugal), both composed of aromatic and polyester-based polyols and presenting white powders/crystals on the surface. Although not explicitly described as blooming, the authors' descriptions align with the definitions outlined in the first section of this article [20, 32]. Moreover, infrared analysis identified these deposits as adipic acid, interpreted as a deterioration product from the polyester-based coating, and described as easily removable [20, 32]. In the 2017 study [20], outdoor aging experiments using model samples further confirmed this behavior: optical microscopy under reflected cross-polarized light revealed the formation of a whitish, removable layer only after three months of aging, which intensified after six months. These results resembled the degradation pattern observed in historical TPU-coated garments, particularly the formation of white surface powders. Despite these contributions, literature was limited to isolated cases and offered no broader understanding of blooming prevalence, formulation dependence, or behavior across collections.

This gap was addressed within the *Glossy Surfaces* project (2020-2023), the first large-scale investigation of TPU-coated items across multiple museum collections. Within the project, 66 TPU-coated artefacts from more than seven collections worldwide, covering the period from the 1960s to 2010s, were assessed through a multi-analytical approach. The artefacts included aliphatic polyester-based, aliphatic polyether-based, and aromatic polyester-based TPUs. The latter composition represented nearly 80 % of all TPU artefacts, dating from 1960s to 2010s, with many affected by blooming [16]. Moreover, adipic acid was detected in circa 90 % of the white deposits identified as blooming [17], regardless of the damage degree, and more present in aromatic polyester-based TPU [50-55]. Additional adipate-related compounds have been detected in a few cases as well [6, 16, 18].

Examples of case studies documented within the *Glossy Surfaces* project include three garments by Maria Gambina from the MUDE collection – a pair of black pants [6, 17], a black skirt (1998) [35], and an orange and pink jacket (1998/99) [6] – identified as aromatic polyester-based TPU-coated fabrics. Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) was used to identify the deposits, confirming the presence of adipic acid [6, 17, 35]. In the spectra of the TPU coating, a decrease in the intensity of the C=O band at c. 1727 cm⁻¹, along with spectral changes in the C–O–C region (c. 1200–1100 cm⁻¹), were detected, showing alterations consistent with ester bond cleavage. Moreover, the shift of the C=O band from 1727 to 1695 cm⁻¹, and the appearance of a shoulder at c. 1665 cm⁻¹, further indicated the formation of acidic species, supporting the hypothesis that blooming in polyester-based TPUs results from hydrolysis of the soft segment [16].

Other examples include a garment from MoMu (ModeMuseum, Belgium), an André Courrèges orange jacket (1970) [6], and three items from The Met (Metropolitan Museum of Art) Costume Institute's collection, Diana Dew's *Electric Dress* (ca. 1967), a Golo Footwear Corporation boot (ca. 1970), and Rae Spencer-Cullen's *Hommage to Magritte* (ca. 1978) [36]. Another highly degraded red and black jacket, acquired as a research case study, was likewise characterized and an aromatic polyester-based TPU coating with adipic acid as blooming was identified [17].

Rodríguez Salinas and Ferrazza [8] conducted a comparative study of three pairs of shoes from the Kunstmuseum Den Haag (ca. 1970) by Charles Jourdan, Gucci, and Valentina [8]. All items featured polyester-based TPU coatings (mainly on leather substrates), showing blooming that transformed their original glossy “wet-look” finish into a matte, whitish surface. ATR-FTIR confirmed adipic acid as the crystalline efflorescence in the Charles Jourdan pair, a result highlighted by the authors, given the potential for misidentification as fatty acid spews from leather. This identification allowed possible treatment recommendations, such as caution when using polar solvents (e.g. ethanol or methanol) to remove the deposits, emphasizing the need to balance solubility with coating stability. The blooming of the other shoes was not identified.

Tomás Ferreira et al. [45] recently analyzed two additional case studies from the MUDE collection: a designer dress from 1999/2000 and a pair of designer trousers from 1998, both composed of aromatic polyester-based TPU. In line with previous studies, the blooming observed on the trousers was identified as adipic acid. By contrast, the blooming from the dress was tentatively identified as an adipate-based compound and, thus, associated with a possible migration process.

Regarding design collections, Bechthold [18] examined Joe Colombo's *Tube Chair* (1969) from Die Neue Sammlung, composed of an aromatic and aliphatic polyester-based TPU, with a higher aromatic content on the outer layers. At the time, the coating did not exhibit blooming but was severely degraded by extensive cracking, flaking, and peeling. To investigate suitable conservation strategies, polyester-based TPU model samples were artificially aged under several conditions. Although not explicitly described as blooming, these model samples developed crystalline surface efflorescence whose morphology and chemical identification closely resemble phenomena later reported as blooming in TPU materials, as demonstrated by the artificial aging experiments. Exposure to hydrochloric acid vapors (6 mol/L) resulted in the formation of a crystal-like efflorescence after seven days. After 18 days, these structures branched into leaf-like crystals (200–500 µm in length), and by day 32, larger sheet-like crystals (200–800 µm in diameter) were observed by scanning electron microscopy (SEM). This efflorescence was identified as adipic acid by X-ray diffraction (XRD). Alkali exposure in 28 % ammonia solution led, after 13 days, to highly branched cauliflower-like structures (c. 30 µm in length), while after 27 days, to star-shaped structures composed of thin rods (500 µm maximum diameter and 20 µm rod thickness). XRD analysis identified these structures as ammonium adipate [18]. Further work in 2006 reported the consolidation of the Die Neue Sammlung *Tube Chair* with an aqueous anionic polyurethane dispersion (Bayer Isovlin V), a treatment conducted

in 2002 [56]. While blooming was not documented in either the 2002 or 2006 studies, in 2023, Bechthold reported that blooming had specially appeared on non-consolidated areas since at least 2018, although no further analysis was conducted [57].

Even though this review focused primarily on blooming on TPU-coated fabrics, this discussion also considered examples from other polyurethane forms, such as rubbers. Owing to their shared chemical composition, case studies on polyurethane elastomers provide valuable comparative data. For instance, the *Cosmos* (1967) knee-length boots by Pierre Cardin (Victoria and Albert Museum) exhibited a thick white waxy layer on their polyester-based TPU heel tips [58]. FTIR identified dibutyl adipate and adipic acid as the blooming constituents [58]. Spring and Flexer [59] reported a similar damage in two additional footwear case studies: the soles of George Best's Adidas Milano boots (1976), and the soles of Pelé's Yasuda boots (1969). The first case displayed heavy white crystalline deposits identified as calcium sulphate dihydrate, while the second presented a hard, powdery white efflorescence identified as suberic acid, a compound used as a plasticizer or an alternative to adipic acid in the synthesis of polyester polyols. Similarly, Llamas-Pacheco [60] studied Gaizka Mendieta's Kelme *Milenia* boots (ca. 1999), a pair of soccer boots whose Phylon/TPU soles exhibited extensive whitish crystalline blooming, suggested by the author as being adipic acid or an adipate, although not confirmed through analyses.

Beyond the identification of blooming in design and fashion items, its presence in utilitarian objects has also been documented. Krieg et al. reported blooming in several historical industrial objects, namely in one polyester-based TPU pressure handle from a 1970s mining hammer, identifying the crystalline efflorescence as adipic acid [34].

Together, these diverse case studies, from fashion, design, footwear, and industrial objects, point to the widespread occurrence of blooming in TPU materials. Table 1 compiles documented cases of blooming identified in TPU-coated fabrics and rubber-based TPU objects within the cultural heritage context. It summarizes the type, name and provenance of each object, approximate production date, chemical nature of the TPU formulation and identified blooming compounds, analytical techniques used for their identification, and bibliographic sources. In total, 21 case studies were identified, of which 16 concern TPU-coated fabrics and 5 involve TPU-rubber-containing objects.

Across these studies, several consistent patterns emerge. Blooming is consistently associated with polyester-based TPUs, particularly those synthesized with aromatic diisocyanates (MDI or TDI), aligning with polymer-science literature describing the hydrolytic susceptibility of polyester soft segments [11]. Adipic acid is by far the most frequently identified white efflorescence in both coated fabrics [6, 17, 20, 35-36] and elastomeric items [34, 58]. In some studies, complementary or derivative species such as ammonium adipate, dibutyl adipate, or other dicarboxylic acids (e.g., suberic acid in specific footwear soles) were also reported [6, 18, 58-59]. Infrared spectroscopy, mainly ATR-FTIR, is the primary analytical technique for identifying both TPU coatings and blooming compounds [6, 17, 35-36, 45], complemented by Py-GC/MS for formulation identification (namely additives and degradation products) [6, 34, 36], XRD for crystallographic characterization [18], and SEM for morphology assessment [8, 18].

These findings highlight both the tendency of blooming manifestations across heritage TPU materials and the need for further systematic research. Although existing studies mainly identify adipic acid as white deposits, the literature remains limited to isolated case studies, lacks standardized methodologies for blooming identification (including high-resolution photographic and microscopic documentation), provides an incomplete characterization of TPU formulations, and rarely examines factors such as environmental and handling conditions throughout the TPU's lifespan that may influence blooming development.

Table 1. Summary of reported blooming identifications in TPU-coated fabrics and rubber objects according to the accessed literature.

TPU class	Object (date), author, institution	TPU formulation		Blooming		References
		Chemical composition	Analytical techniques*	Chemical composition	Analytical techniques*	
Coated fabrics	Flea market gloves (mock-up samples)	Polyester-based TPU	ATR-FTIR	Adipic acid (acid hydrolysis) and ammonium adipate (alkaline hydrolysis)	XRD	[18]
	<i>La Valise des Nouveaux Réalistes</i> (1973) by Arman and other artists	Polyester-based TPU	FTIR	Cyclopentanone and MDI derivatives	Py-GC/MS, FTIR	[49]
	Brown Dress (c.1970), André Courrèges, MUDE	Aromatic (MDI) polyester-based TPU	μ-FTIR	Adipic acid	μ-FTIR	[20]
	Blue Dress (c.1965), André Courrèges, MUDE					
	Blue Coat (c.1971), André Courrèges, MUDE	Aromatic polyester-based TPU				[20, 32]
	<i>Electric Dress</i> (ca. 1967), Diana Dew, CI	Aromatic (TDI) polyester-based TPU	ER-FTIR, μ-FTIR, Py-GC/MS		ER-FTIR, μ-ATR-FTIR	[36]
	Boot (ca. 1970), Golo Footwear Corporation, CI	Aromatic (MDI) polyester-based TPU				
	<i>Hommage to Magritte</i> (ca. 1978), Rae Spencer-Cullen, CI					
	Skirt (1998), Maria Gambina, MUDE	Aromatic polyester-based TPU	ATR-FTIR		ATR-FTIR	[35]
	Orange Jacket (1970), André Courrèges, MoMu		μ-ATR-FTIR		μ-ATR-FTIR	[6]
	Pants (1998), Maria Gambina, MUDE		ATR-FTIR		ATR-FTIR	[6, 17]
	Jacket (1998/99), Maria Gambina, MUDE					[6]
	Flea market degraded red and black jacket (purchased case study)					[17]
	Shoes, Charles Jourdan (ca.1970), Kunstmuseum Den Haag	Polyester-based TPU coating				[8]
	Shoes, Valentina, (ca.1970), Kunstmuseum Den Haag	Aromatic polyester-based TPU coating		Only visually identified	-	
	Shoes, Gucci, (ca.1970), Kunstmuseum Den Haag			Only visually identified	-	
Rubbers	<i>Cosmos boots</i> , Pierre Cardin (1967), V&A Museum	Polyester-based TPU (heel tips)	FTIR	Dibutyl adipate and adipic acid	FTIR	[58]
	Mining hammer handle (1970s), Deutsches Bergbau Museum Bochum	Polyester-based TPU (handle)	ATR-FTIR	Adipic acid	ATR-FTIR	[34]
	George Best football boots, Adidas Milano (1976), private collector	Polyester-based TPU (sole)	FTIR	Calcium sulphate dihydrate	FTIR	[59]
	Pelé football boots, likely Yasuda (1969), private collector	Aromatic (MDI) polyester-based TPU (sole)		Suberic acid		
	Gaizka Mendieta's <i>Milenia</i> boots, Kelme (ca.1999)	Polyester-based TPU (sole) (identification not confirmed)	-	Adipic acid or an adipate (suggested, not confirmed)	-	[60]

*μ = micro; ER-FTIR = External reflection-Fourier transform infrared.

Active and preventive conservation for TPU-coated fabrics with blooming: strategies and key findings

The conservation of TPU-coated fabrics presents significant challenges due to their multilayered construction and chemical instability. Although increasingly present in museum collections, these materials remain under-studied with regard to active conservation and preventive strategies, leaving conservators with limited reference tools [6, 12]. Furthermore, while blooming is one of the most recurrent forms of deterioration in TPU-coated fabrics, there are currently no preventive conservation guidelines specifically tailored to prevent this phenomenon or to slow its progression once present. Existing recommendations are limited in

number and address TPU-coated fabrics more broadly, focusing on the chemical instability of the coating. This section therefore outlines general preventive conservation guidelines for TPU-coated fabrics, followed by the limited active approaches described for objects exhibiting blooming.

Recommendations compiled from recent publications, including Reddy-Best and Ordoñez [7] and the *Glossy Surfaces* project [61], emphasize isolating TPU-coated fabrics to prevent contamination of nearby materials and reduce the risk of cross-reactions caused by volatile degradation products. Storage should minimize dust accumulation, mechanical stress and limit folds, while ensuring stable environmental conditions (14-18 °C; 40-50 % RH with minimal fluctuations) and good air circulation to dissipate volatile compounds [7, 61]. Light levels during display should remain below 50 lux, with dark storage preferred. Handling must be minimal and performed with nitrile gloves to prevent surface damage or material loss, especially when blooming is present. Regular monitoring every three to six months is strongly advised to detect early signs of deterioration [61]. It should be noted, however, that these recommendations [7, 61] are primarily based on practice-based knowledge rather than systematic, peer-reviewed studies specifically focused on TPU materials. As such, they should be interpreted as preliminary guidelines, highlighting the need for further material-specific and systematically validated research addressing these topics.

Support and storage materials also play a critical role in preservation outcomes [6, 23, 61]. Hanging should only be considered when the object's condition allows, as tension may exacerbate damage; otherwise, horizontal storage is recommended [6]. Furthermore, the contact between items and storage materials should be minimized. Carita's master's thesis [35] suggests capsule-style covers in silicone-coated polyester film to prevent such contact. Additionally, providing internal support to avoid deformation is advised [61]. Recent preliminary assessments conducted within the *Glossy Surfaces*, based on the visual evaluation of various collections from museums and storage archives, suggest that, among the storage materials tested, polyethylene foil, Tyvek, tissue paper, glass containers (when in direct contact with the coating), polyester film (such as Melinex and Mylar), or anoxic enclosures specifically with ATCO or Ageless absorbers were the least suitable. Pre-washed cotton and silicone-coated polyester film may be used, but with caution. So far, based on [61], the most stable storage conditions seem to be silicone-coated paper and anoxic enclosures with RP System Type-K absorbers or argon gas.

Active conservation interventions for TPU-coated fabrics remain limited and often present significant risks. Reddy-Best and Ordoñez [7] recommend avoiding dry cleaning, as it can cause peeling, blistering, tackiness, and material loss. Similarly, wet cleaning should only be performed when strictly necessary, as this can result in crumbling, discoloration, and disintegration. Minimizing movement and flexing to prevent delamination is also recommended.

Specific research on cleaning strategies for TPU-coated items exhibiting blooming is limited, and the few known attempts by museum professionals to remove blooming have generally yielded only temporary results. Recently, under the *Glossy Surfaces* [16-17, 35] and *InBloom* [22-23] projects, this topic has been further researched, namely the impact of several cleaning methods and storage conditions on blooming reoccurrence.

Initial cleaning attempts were undertaken by França de Sá et al. [17], who studied blooming removal from two aromatic polyester-based TPU-coated items. For this experiment, a designer pouch and a non-museum historical jacket (bought at a flea-market) were used. Dry and wet cleaning strategies were comparatively evaluated using digital microscopy, colorimetry, and infrared spectroscopy [17]. Initial tests of dry cleaning tools revealed low efficiency and unacceptable material loss, leading to their exclusion. Subsequent wet cleaning trials were designed based on the solubility of adipic acid, using water, ethanol, and water/ethanol mixtures applied through confined and non-confined systems. Among non-confined methods, distilled water proved the safest and most effective, whereas ethanol caused coating loss.

Confined systems showed better performance, with agar-agar gel (4 % in water) demonstrating the most effective and least damaging results. Other hydrogels were less effective, and ethanol addition did not improve outcomes. Although promising, these results remain limited by the use of flat TPU-coated fabric samples, the lack of long-term assessment of water exposure, and the exclusive focus on adipic acid-based blooming [17].

The long-term impact of the most promising cleaning options, the agar-agar gel and sponge with water, was further assessed by Tomás Ferreira et al. [22-23], along with the impact of several storage conditions and wrapping materials, including open-air, anoxic enclosures, raw cotton fabric and silicone-coated polyester film. Blooming reoccurrence on cleaned samples was assessed after six months and again after two years of natural aging. After six months [22], the increase in blooming was almost insignificant, which did not allow for definitive conclusions. After two years [23], however, blooming increase was markedly more pronounced in non-cleaned samples than in cleaned ones. Among the latter, agar-agar gel showed the best results, enabling a more homogenous removal of adipic acid, in agreement with earlier observations by França de Sá et al. [17]. Regarding the storage options, although further studies are required to clarify the role of wrapping materials in blooming development, preliminary results suggest that wrapping in cotton fabric may promote further degradation [23].

Overall, recent research has provided essential insights into safer and more effective strategies for the removal of blooming from TPU-coated fabrics. Nevertheless, the limited number of case studies highlights the need for broader investigations that incorporate a wider range of TPU-coated objects and chemical natures of blooming, to better assess active and preventive conservation strategies.

Conclusion

TPU-coated items have proven to be highly vulnerable materials in museum collections, and their inherent instability poses persistent conservation challenges. Literature demonstrates that blooming is a widespread damage in design and fashion objects containing TPU-coated fabrics. Its visible manifestations, including loss of gloss, color alteration, and surface whitening, frequently compromise the objects' display value and the designer's intended aesthetic.

The investigation into blooming definitions highlighted two distinct but complementary explanatory models. In polymer science and industry, the phenomenon is generally described as a migration involving phase separation and exudation of pre-existing low-molecular-weight components, such as additives. From the industrial literature, it was determined that the occurrence of blooming is strongly influenced by the TPU's initial formulation. Conservation science, dealing with aged and degraded TPU objects, links blooming to the appearance of white surface deposits. In addition, most conservation studies further relate these deposits to the TPU chemical aging, specifically the hydrolytic cleavage of polyester polyol soft segments. This reaction results in acidic by-products, often adipic acid, that appear at the TPU surface. However, some studies lack a detailed characterization of the TPU formulation, often only identifying the diisocyanate and polyol families. As a result, it is difficult to establish a correlation between specific TPU formulations and the occurrence of blooming. Thus, these views of blooming do not seem to arise from different field perspectives but from distinct temporal and material contexts in which the phenomenon is observed. Consequently, the same term is applied to describe the visual appearance of the damage or the underlying mechanism. Notwithstanding, both processes – additive migration and hydrolytic degradation – may occur simultaneously or sequentially, and both can result in whitish deposits at the TPU surface. However, no single explanation fully captures the complexity of this phenomenon. This raises the question of whether precise terminology should be adopted.

Across the reviewed case-studies on TPU materials exhibiting blooming, the phenomenon is mainly associated with TPUs formulated with polyester-based polyols and aromatic diisocyanates. Adipic acid is predominantly identified as the main white efflorescence on both coated fabrics and elastomeric objects, occasionally accompanied by related adipate salts, esters, or other dicarboxylic acids. ATR-FTIR remains the primary technique for identifying both TPUs and blooming compounds, frequently supported by Py-GC/MS, XRD, and SEM for compositional and morphological analysis. Despite its strong visual disruption, blooming is rarely documented through images, limiting systematic comparison and restricting the assessment of potential developmental stages (from amorphous to crystalline). To facilitate its identification, it is crucial to have studies categorizing blooming's morphology (powdery vs. waxy), form (granular, spherical, spiked), and scale. Although existing studies show consistency in blooming chemical composition, they are limited in number, lack standardized methodologies, and rarely correlate environmental conditions (during storage, exhibition, and loans) or the items' use history with blooming development, highlighting the need for broader and more systematic investigations.

Regarding conservation strategies for TPU-coated fabrics, research has established critical initial guidelines. Preventive measures reported in the literature mention stable environmental conditions (14-18 °C; 40-50 % RH) and good air circulation, with regular monitoring. Although blooming is a frequently observed damage, specific preventive measures to tackle it are lacking, and current approaches largely rely on active measures to remove surface deposits and slow down its reoccurrence. Research findings revealed that dry-cleaning methods are generally ineffective or potentially damaging due to the intrinsic fragility of TPU coatings, with limited studies assessing these risks. Wet confined cleaning using agar-agar gels has demonstrated promising results with the safe removal of adipic acid deposits. Long-term studies revealed continuous blooming growth on non-cleaned samples, and minimal reappearance in agar-agar gel cleaned ones after two years of natural aging. Storage conditions also proved to be critical, with raw cotton appearing to promote blooming reoccurrence and abrasion.

Despite these developments, major questions remain regarding the applicability of such cleaning systems to materials presenting different surface textures and dimensions, as well as their effectiveness in removing blooming compounds other than adipic acid. Further research on storage materials is needed to determine their influence on the reoccurrence of all types of blooming compounds after cleaning treatments, and to identify the most effective in the long term. Moreover, the literature does not currently address the perspectives of designers or object owners on how blooming possibly impacts the interpretation, display, and public experience of TPU-coated objects, nor on ethical considerations regarding its removal.

The *InBloom* project will continue addressing these gaps through systematic research, contributing to evidence-based guidelines for the preservation of TPU-coated fabrics exhibiting blooming. Ultimately, this work aims to translate scientific findings into practical guidelines and decision-making tools that will support conservators in preserving these highly vulnerable materials across museum collections.

Acknowledgements

The authors would like to thank all members of the *InBloom* project team, in particular David Macário, for facilitating contact with industrial facilities; gratefully acknowledge Luísa Sousa and Gisela Ferreira for the guided visit to Monteiro Fabrics (Portugal), and Carlos Silva and Pedro Magalhães for the site visit to Tintex (Portugal), as well as for sharing valuable insights into coated-fabrics production processes; and Tim Bechthold for the insightful discussion on the Die Neue Sammlung *Tube Chair*.

This research was funded by national funds from FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., under the scope of the projects UID/50006/2025, UID/PRR/50006/2025, UID/PRR2/50006/2025 and LA/P/0008/2020 of the Associated Laboratory for Green Chemistry - LAQV REQUIMTE (<https://doi.org/10.54499/UID/50006/2025>, <https://doi.org/10.54499/UID/PRR/50006/2025>, <https://doi.org/10.54499/UID/PRR2/50006/2025> and <https://doi.org/10.54499/LA/P/0008/2020>), the doctoral grant 2021.04565.BD, and the funded project "InBloom - Investigating the impact of blooming on polyurethane-coated fabrics to support conservation decisions in fashion and design collections" (2023.11375.PEX, <https://doi.org/10.54499/2023.11375.PEX>).

REFERENCES

1. Rasmussen, S. C., 'Revisiting the early history of synthetic polymers: critiques and new insights', *Ambix* **65**(4) (2018) 356-372, <https://doi.org/10.1080/00026980.2018.1512775>.
2. Shashoua, Y., *Conservation of plastics: materials science, degradation and preservation*, Elsevier/Butterworth-Heinemann, Amsterdam (2008).
3. Chaudhary, M. L.; Gupta, R. K., 'Polyurethanes: an introduction', in *ACS symposium series*, eds. M. L. Chaudhary & R. K. Gupta, American Chemical Society, Washington, DC (2025) 1-14, <https://doi.org/10.1021/bk-2025-1507.ch001>.
4. de Souza, F. M.; Kahol, P. K.; Gupta, R. K., 'Introduction to polyurethane chemistry', in *Polyurethane chemistry: renewable polyols and isocyanates*, eds. R. K. Gupta & P. K. Kahol, American Chemical Society Publications, Washington, DC (2021) 1-24, <https://doi.org/10.1021/bk-2021-1380.ch001>.
5. Ghazal, H.; Saad, F.; Hegazy, B. M.; Sedik, A.; Hassabo, A. G., 'Polyurethane and its application in textile industry', *Letters in Applied NanoBioScience* **13**(1) (2024) 1-28, <https://doi.org/10.33263/LIANBS131.008>.
6. França de Sá, S.; Verkens, K.; Rizzo, A.; Petersen, G.; Scaturro, S.; Correia, I.; Carita, M., 'Synthetic coatings in fashion collections: identification and preservation issues', in *Handbook on museum textiles*, Scientific and Technological Research, Wiley (2023) 319-344.
7. Reddy-Best, K. L.; Ordoñez, M. T., *Conservation concerns in fashion collections: caring for problematic twentieth-century textiles, apparel, and accessories*, Costume Society of America, Ohio (2022).
8. Rodríguez Salinas, C.; Ferrazza, L., 'Real or faux leather? Luxury or ready-to-wear mass production? Characterization of three TPU shoe coatings (ca. 1970) from the Kunstmuseum Den Haag fashion collection', *Conservar Património* **47** (2024) 60-77, <https://doi.org/10.14568/cp34780>.
9. *Curating semi-synthetic and synthetic fibres and fabrics*, Dress and Textiles Specialists (DATS) and Plastics Subject Specialist Network (PSSN), London (2022), [Microsoft Word - Curating Semi and Synthetic Fibres v1.docx](https://www.microsoft.com/en-gb/download/details.aspx?id=52444), (accessed 2025-10-23).
10. Ionescu, M. (ed.), *Chemistry and technology of polyols for polyurethanes*, Rapra Technology, Shawbury (2005).
11. Meier-Westhues, H.-U.; Danielmeier, K.; Kruppa, P.; Squiller, E., *Polyurethanes: coatings, adhesives and sealants*, 2nd ed., Vincentz Network, Hannover (2019), <https://doi.org/10.1515/9783748600473>.
12. Tomás Ferreira, J.; De Vrieze, S.; Van Der Velde, E.; Verkens, K.; França de Sá, S., 'Beyond the surface: a closer look at the stratigraphy of synthetic-coated fabrics in fashion collections and commercial samples through optical microscopy', *Conservar Património* **47** (2024) 43-59, <https://doi.org/10.14568/cp34830>.
13. Fung, W., *Coated and laminated textiles*, CRC Press, Woodhead, Oxford (2008).
14. McSweeney, R. T.; Athey, R. J., 'Urethane coatings for textile substrates', *Journal of Coated Fabrics* **3** (1973) 16-30, <https://doi.org/10.1177/152808377300300103>.
15. 'Blooming (damage types)', in *Damage Atlas Glossy Surfaces*, <https://studycenter.momu.be/DAT/page/Blooming> (accessed 2025-10-23).
16. França de Sá, S., 'Mapping polyurethane coated fabrics and damages in fashion collections worldwide by optical microscopy and infrared spectroscopy', in *Semi-synthetic and synthetic textile materials in fashion, design and art*, ICOM-CC Modern Materials & Contemporary Art and Textiles Working Groups, Online (2023) in press.
17. França de Sá, S.; Tomás Ferreira, J.; Carita, M.; Correia, I.; Van Der Velde, E.; Verkens, K., 'A preliminary approach for blooming removal in polyurethane-coated fabrics', *Conservar Património* **47** (2024) 28-42, <https://doi.org/10.14568/cp34728>.
18. Bechthold, T., *Polyurethan im möbeldesign der 60er jahre - technologie - alterung - konservierung*. Unter besonderer Berücksichtigung polyurethanbeschichteter textiler Trägersubstrate, Master Dissertation, Restaurierung, Kunsttechnologie und Konservierungswissenschaft, Technische Universität München, München (2002).
19. 'Degradation of polyurethanes', in *Damage Atlas Glossy Surfaces*, https://studycenter.momu.be/DAT/page/degradation_of_polyurethanes (accessed 2025-10-23).
20. França de Sá, S., *What does the future hold for polyurethane fashion and design? Conservation studies regarding the 1960s and 1970s objects from the MUDE collection*, PhD dissertation, Department of Conservation and Restoration, NOVA School of Science and Technology, Caparica (2017).
21. Lavédrine, B.; Fournier, A.; Martin, G. (eds.), *POPART: Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections*, Comité Des Travaux Historiques et Scientifiques, Paris (2012).
22. Tomás Ferreira, J.; Damas, C.; Carita, M.; Correia, I.; Van Der Velde, E.; Verkens, K.; França de Sá, S., 'Oh no, not blooming again! Assessing the influence of storage conditions in the reappearance of blooming on TPU coated fabrics', poster in *Future Talks 023: Materials Matter. Cold and Current Cases in the Conservation of the Modern*, Die Neue Sammlung, Munich (2023).
23. Tomás Ferreira, J.; Laganà, A.; Mazurek, J.; Rizzo, A.; França de Sá, S., 'To clean or not to clean? Reversing a trend of conservation failures when dealing with blooming in thermoplastic polyurethanes', oral communication in *Future Talks 025: From failure to success. Innovative case studies in the conservation of the modern*, Die Neue Sammlung, Munich (2025).
24. *Inbloom*, <https://sites.fct.unl.pt/inbloom/home> (accessed 2025-12-11).
25. Seah, D. G. J.; Dasari, A., 'Establishing the bleeding and diffusion of chromophores from lining/upper fabrics in shoes to MidSole in sneakers – a case study', *The Journal of The Textile Institute* **116**(7) (2025) 1243-1251, <https://doi.org/10.1080/00405000.2024.2372996>.
26. Work, W.; Horie, K.; Hess, M.; Stepto, R., 'Definition of terms related to polymer blends, composites, and multiphase polymeric materials', *Pure and Applied Chemistry* **76**(11) (2004) 1985-2007, <https://doi.org/10.1351/pac200476111985>.
27. Wypych, G. (ed.), *Handbook of plasticizers*, ChemTec Pub, Toronto (2004).
28. Farkas, J., 'Thermoplastic polyurethane with reduced tendency to bloom from a bio-based glycol', Ohio, patent, US 2014/0107311 A1 (2014).

29. Farkas, J.; Jacobs, C. P., 'Thermoplastic polyurethane with reduced tendency to bloom', Ohio, patent, US 8,790,763 B2 (2014).
30. Farkas, J.; Day, R. W.; Gross, R. A.; Ganesh, M., 'Polyols with reduced cyclic oligomer content and thermoplastic polyurethane compositions thereof', Ohio, patent, WO 2017/040505 A1 (2017).
31. 'DAMIANI industrial paints: explanatory notes 2k top coats' (2019), https://www.betonboja.com/files/NE_DAM_TOP_COAT_2K_EN.pdf (accessed 2025-10-24).
32. França de Sá, S.; Ferreira, J. L.; Ramos, A. M.; Coutinho, B.; Macedo, R., 'How to keep what was intended to be temporarily functional? Reflections on decision-making for the conservation of polyurethane ready-to-wear fashion', in *Authenticity and replication: the 'real thing' in art and conservation*, eds. R. Gordon, E. Hermens & F. Lennard, Archetype, London (2014) 193-203.
33. Keneghan, B., 'A survey of synthetic plastic and rubber objects in the collections of the Victoria and Albert Museum', *Museum Management and Curatorship* **19**(3) (2001) 321-331, [https://doi.org/10.1016/S0260-4779\(01\)00054-1](https://doi.org/10.1016/S0260-4779(01)00054-1).
34. Krieg, T.; Mazzon, C.; Gómez-Sánchez, E., 'Material analysis and a visual guide of degradation phenomena in historical synthetic polymers as tools to follow ageing processes in industrial heritage collections', *Polymers* **14**(1) (2021) 121, <https://doi.org/10.3390/polym14010121>.
35. Carita, M., A coleção de moda de Maria Gambina no MUDE – Museu do Design e da Moda: levantamento, caracterização material e desenvolvimento de estratégias de acondicionamento, Master Dissertation, Department of Conservation and Restoration, NOVA School of Science and Technology, Caparica (2022), https://run.unl.pt/bitstream/10362/155793/1/Carita_2022.pdf (accessed 2025-11-13).
36. Rizzo, A.; Scaturro, S., 'Already out of fashion: the fashionable rise and chemical fall of thermoplastic polyurethane', in *ICOM-CC 19th Triennial Conference Preprints*, ed. J. Bridgland, ICOM-CC, Beijing (2021) 1-11.
37. Lattuati-Derieux, A.; Thao-Heu, S.; Lavédrine, B., 'Assessment of the degradation of polyurethane foams after artificial and natural ageing by using pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry and headspace-solid phase microextraction-gas chromatography/mass spectrometry', *Journal of Chromatography A* **1218**(28) (2011) 4498-4508, <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.05.013>.
38. Pellizzi, E.; Lattuati-Derieux, A.; Lavédrine, B.; Cheradame, H., 'Degradation of polyurethane ester foam artifacts: chemical properties, mechanical properties and comparison between accelerated and natural degradation', *Polymer Degradation and Stability* **107** (2014) 255-261, <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.12.018>.
39. van Oosten, T.; Shashoua, Y.; Waentig, F., *Plastics in art: history, technology, preservation*, Siegl, Munich (2002).
40. van Oosten, T., *PUR Facts. Conservation of polyurethane foam in art and design*, Amsterdam University Press, Amsterdam (2011).
41. Sen, A. K., *Coated textiles: principles and applications*, 2nd ed., CRC Press, Boca Raton (2008).
42. Rose, A.; King, A., *Plasticisers in historic plastics: spectroscopic and chromatographic approaches for cellulose acetate and polyvinyl chloride*, PhD dissertation, Institute of Sustainable Heritage, University College London, London (2023).
43. Wei, X.-F.; Linde, E.; Hedenqvist, M. S., 'Plasticiser loss from plastic or rubber products through diffusion and evaporation', *npj Materials Degradation* **3**(1) (2019) 18, <https://doi.org/10.1038/s41529-019-0080-7>.
44. Szycher, M., *Szycher's handbook of polyurethanes*, 2nd ed., CRC Press, Boca Raton (2013).
45. Tomás Ferreira, J.; Rizzo, A.; Ferreira, G.; Carvalho, F.; Macário, D.; França de Sá, S., 'Vinyl- and polyurethane-coated fabrics in fashion collections: exploring material subtleties through a multi-analytical approach', *Heritage* **8** (2025) 511, <https://doi.org/10.3390/heritage8120511>.
46. Silva, C., Personal communication, Tintex, Vila Nova de Cerveira, Portugal (2025).
47. ISO 6452:2021. Rubber- or plastics-coated fabrics – Determination of fogging characteristics of trim materials in the interior of automobiles, International Organization for Standardization, Geneva (2021).
48. Farkas, J.; Jacobs, C. P., 'Thermoplastisches polyurethan mit verringerter ausblühneigung', Paris, patent, EP 2 408 831 B2 (2012).
49. Lavédrine, B.; Fournier, A.; Martin, G., 'Appendix 3: analysis of degradation products found during surveys of three French collections', in *POPART: Preservation of plastic artefacts in museum collections*, eds. B. Lavédrine, A. Fournier & G. Martin, Comité Des Travaux Historiques et Scientifiques, Paris (2012).
50. 'Case study - damaged blooming c1', in *Damage Atlas Glossy Surfaces*, <https://studycenter.momu.be/DAT/item/75893> (accessed 2025-10-23).
51. 'Case study - damaged blooming c2', in *Damage Atlas Glossy Surfaces*, <https://studycenter.momu.be/DAT/item/75899> (accessed 2025-10-23).
52. 'Case study - heavily damaged blooming c1', in *Damage Atlas Glossy Surfaces*, <https://studycenter.momu.be/DAT/item/75889> (accessed 2025-10-23).
53. 'Case study - heavily damaged blooming c2', in *Damage Atlas Glossy Surfaces*, <https://studycenter.momu.be/DAT/item/75891> (accessed 2025-10-23).
54. 'Case study - slightly damaged blooming c1', in *Damage Atlas Glossy Surfaces*, <https://studycenter.momu.be/DAT/item/75892> (accessed 2025-10-23).
55. 'Case study - slightly damaged blooming c2', in *Damage Atlas Glossy Surfaces*, <https://studycenter.momu.be/DAT/item/75886> (accessed 2025-10-23).
56. Bechthold, T., 'Wet look in 1960s furniture design: degradation of polyurethane-coated textile carrier substrates', in *The future of the 20th century: collecting, interpreting and conserving modern materials*, eds. C. Rogerson & P. Garside, Archetype Publications, London (2006) 128-133.
57. Bechthold, T., 'Tube, dixon and co. – And how are your elderly patients doing?', oral communication in *Future Talks 023: Material Matters. Cold and current cases in the conversation of the modern*, Die Neue Sammlung, Munich (2023).
58. Morris, R.; Keneghan, B., 'Cold war fashion: two case studies from an exhibition at the Victoria & Albert Museum', in *Future Talks 009: The conservation of modern materials in applied arts and design proceedings*, Die Neue Sammlung, Munich (2009) 93-100.
59. Spring, K.; Flexer, G., 'Approaching the preservation of polyurethane ester soles on football boots', in *University of Cambridge, Cambridge* (2023) 63-76, <https://doi.org/10.17863/CAM.104118>.
60. Llamas-Pacheco, R., 'Facing new challenges in the conservation of the boots of former Valencia Club de Fútbol player Gaizka Mendietea', *Ge-conservacion* **25**(1) (2024) 30-43, <https://doi.org/10.37558/gec.v25i1.1186>.

61. 'Conservation guidelines', in *Damage Atlas Glossy Surfaces*, https://studycenter.momu.be/DAT/page/conservation_guidelines (accessed 2025-10-23).

RECEIVED: 2025.12.19

REVISED: 2026.4.27

ACCEPTED: 2026.6.12

ONLINE: 2026.9.16



This work is licensed under the Creative Commons

Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

To view a copy of this license, visit

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>.

La representación geométrica y gráfica de bienes escultóricos: una propuesta de fichas normalizadas mediante la revisión de criterios y normas UNE e ISO

Representação geométrica e gráfica de bens escultóricos: uma proposta de fichas normalizadas a partir da revisão de critérios e normas UNE e ISO

Geometric and graphic representation of sculptural heritage: standardised record sheets based on UNE and ISO criteria and standards

Resumen

La documentación del patrimonio tridimensional mantiene una notable distancia entre las posibilidades actuales de la digitalización 3D como registro geométrico y su implementación efectiva en la conservación-restauración. Persisten formas tradicionales de documentación, insuficientes para garantizar control espacial, comparabilidad y revisión técnica, pese a la accesibilidad de la fotogrametría digital, el escaneado 3D y sus productos derivados. Frente a esta carencia, el artículo propone un sistema de fichas normalizadas para integrar ortofotografías, cartografías, micrografías y estratigrafías dentro de una misma estructura documental. La propuesta revisa y adapta criterios UNE e ISO relativos a formato, identificación, disposición de vistas y escala, tomando la escultura como principal campo de aplicación por constituir uno de los casos de mayor exigencia documental. El objetivo es traducir los productos derivados de la digitalización 3D en documentación técnica legible, verificable y transferible dentro de la memoria de intervención.

Resumo

A documentação do património tridimensional continua a revelar uma distância significativa entre as possibilidades atuais da digitalização 3D enquanto registo geométrico e a sua implementação efetiva na conservação-restauro. Persistem formas tradicionais de documentação, insuficientes para garantir controlo espacial, comparabilidade e revisão técnica, apesar da crescente acessibilidade da fotogrametria digital, da digitalização 3D e dos seus produtos derivados. Perante esta carência, o artigo propõe um sistema de fichas normalizadas para integrar ortofotografias, cartografias, micrografias e estratigrafias numa mesma estrutura documental. A proposta revê e adapta critérios UNE e ISO relativos ao formato, à identificação, à disposição das vistas e à escala, tomando a escultura como principal campo de aplicação por constituir um dos casos de maior exigência documental. O objetivo é traduzir os produtos da digitalização 3D em documentação técnica legível, verificável e transferível na memória de intervenção.

Abstract

Documentation of three-dimensional heritage still reveals a significant gap between the current possibilities of 3D digitisation as geometric recording and its effective implementation in conservation-restoration. Traditional documentation methods persist, despite being insufficient to ensure spatial control, comparability and technical review, even with the growing accessibility of digital photogrammetry, 3D scanning and derived outputs. In response, this article proposes a system of standardised record sheets for integrating orthophotographs, cartographies, micrographs and stratigraphies within a single documentary structure. The proposal reviews and adapts UNE and ISO criteria relating to format, identification, view arrangement and scale, taking sculpture as its main field of application because it represents one of the most demanding documentary cases. The aim is to translate the outputs of 3D digitisation into readable, verifiable and transferable technical documentation within the intervention report.

JUAN-SALVADOR

SANABRIA-FERNÁNDEZ*

BEATRIZ PRADO-CAMPOS

Universidad de Sevilla, Facultad de Bellas Artes, calle LARAÑA, nº 3, 41003-Sevilla, España

*jssanabria@us.es

PALABRAS-CLAVE

Digitalización 3D
Registro geométrico
Ortofotografía
Normalización documental
Escultura
Conservación-restauración

PALAVRAS-CHAVE

Digitalização 3D
Registo geométrico
Ortofotografia
Normalização documental
Escultura
Conservação-restauro

KEYWORDS

3D digitization
Geometric recording
Orthophotography
Documentary
standardization
Sculpture
Conservation-restoration

Introducción

En el contexto de las intervenciones de conservación-restauración, la fotografía y las cartografías derivadas no son un mero apéndice ilustrativo al final de la memoria de intervención, sino herramientas fundamentales para conocer y diagnosticar correctamente el bien y guiar su tratamiento. Esta exigencia cuenta con respaldo doctrinal y normativo en documentos internacionales que vinculan la conservación-restauración con la producción de una documentación precisa, revisable y accesible, tanto en forma escrita como gráfica y fotográfica [1-4]. Lejos de reducirse a un registro secundario de imágenes, medidas o mapas de daños, el material generado constituye un acto de justificación del conocimiento; un testimonio técnico indispensable para que, en el futuro, las condiciones de la intervención puedan ser comprendidas, revisadas y discutidas.

Históricamente, la metodología de documentación empleada ha tenido como base fundamental la fotografía y, sobre ella, manual o digitalmente, se han realizado los distintos tipos de cartografías, constituyendo un sistema útil y fácil de emplear, que merece reconocerse al haber permitido construir una base importante del conocimiento técnico actual. Durante mucho tiempo, esta práctica documental ha asumido las limitaciones tridimensionales de este medio como una frontera insalvable; se ha aceptado que una secuencia de vistas generales, algunos detalles y una escala gráfica — a menudo testimonial — bastaban para dotar de rigor al registro.

Sin embargo, cuando este sistema se basa exclusivamente en fotografías convencionales no rectificadas o en cartografías elaboradas sobre imágenes en perspectiva, presenta limitaciones importantes para documentar la naturaleza tridimensional de la escultura. El problema no reside en la representación bidimensional como tal — imprescindible para la consulta, impresión y archivo técnico, sino en la ausencia de una base geométrica controlada que permita localizar, medir, comparar y revisar con fiabilidad fenómenos distribuidos sobre una superficie volumétrica compleja [2].

Esta exigencia metodológica encuentra respuesta en la expansión de procedimientos de registro tridimensional — como la fotogrametría digital, el escaneado 3D o las metodologías de modelado informacional, los cuales han transformado el horizonte de la documentación técnica patrimonial al permitir disponer de bases geométricas fiables sobre las que situar observaciones, contrastar hipótesis y convertir el registro gráfico en un verdadero espacio de evidencia. En el contexto actual, el control métrico y espacial define el nuevo estándar de la validez documental.

Esta necesidad se acentúa ante la proliferación de productos derivados del registro geométrico. Sin una estructura común de identificación, codificación, escala, versión y relación interna, el expediente patrimonial corre el riesgo de convertirse en una suma de materiales heterogéneos, difíciles de consultar y de auditar por terceros. Esta falta de uniformidad debilita el valor científico de la documentación: el problema radica en una presentación fragmentada que compromete la trazabilidad y lectura inequívoca. En el ámbito del patrimonio, donde la documentación técnica debe fundamentar decisiones, conservar la memoria operativa y permitir su contraste posterior, la normalización constituye una garantía directa de la calidad del proceso.

Bajo este argumento, el artículo propone un sistema de fichas normalizadas, fundamentado en la revisión de criterios UNE e ISO, para integrar ortofotografías y documentación geométrica en la memoria técnica de intervención. La propuesta se aplica al estudio de bienes muebles y encuentra en la escultura su principal campo de aplicación; por cuanto se trata de una tipología cuya complejidad formal exige un registro especialmente riguroso en la articulación de forma, superficie, orientación y escala. Con ello, el trabajo busca transformar los productos derivados de la tecnología 3D en documentación técnica directamente operativa; asumiendo que documentar una escultura consiste en construir una base de evidencia capaz de describir, medir, localizar fenómenos sobre su superficie, sosteniendo de forma razonada,

verificable y duradera cada decisión adoptada durante la intervención de conservación-restauración.

La documentación geométrica del patrimonio tridimensional: estado de la cuestión y cambio de paradigma

La reformulación de la documentación gráfica cuenta con un recorrido consolidado en el ámbito patrimonial. Hitos internacionales como GraDoc, impulsado por ICCROM [5], o los principios formulados por la Fundación Getty [6] contribuyeron a definir y asentar una cultura documental articulada en torno al registro, el control de la información y la utilidad técnica de los documentos. Aunque estos referentes nacen ligados a la arquitectura y la pintura mural, su alcance desplazó la documentación desde un rol meramente auxiliar o ilustrativo hacia una dimensión estructural en la práctica patrimonial.

Sin embargo, este progreso se manifiesta de forma desigual en los distintos tipos de bienes muebles. Concretamente en la escultura, la documentación convive aún con registros anclados en convenciones visuales tradicionales (Figura 1). La práctica habitual perpetúa un modelo de representación que fuerza la realidad volumétrica del objeto hacia la lógica del plano, ignorando que la escultura desborda la bidimensionalidad: su comprensión depende del giro, de la continuidad del volumen y de la interacción entre superficie, materia y orientación. Ante obras concebidas para una visión múltiple, como el *Rapto de Proserpina* de Bernini (1622), este reduccionismo técnico resulta deficiente, ya que ninguna vista logra agotar la complejidad espacial de la pieza. Un síntoma evidente de esta limitación metodológica es el uso de escalas gráficas en fotografías en perspectiva de la obra completa; aunque su presencia transmite una apariencia de rigor, la correspondencia escalar se quiebra según la profundidad y el relieve de una imagen no rectificadas, confundiendo un indicio de precisión con una capacidad de medida real.

Frente a este escenario, la digitalización 3D pierde su carácter excepcional. Trabajos recientes han mostrado la utilidad de la fotogrametría para generar plantillas técnicas aplicadas a la conservación preventiva de objetos culturales [7], así como el potencial de la metodología HBIM para documentar bienes de elevada complejidad formal como los retablos [8]. La bibliografía especializada demuestra que la fotogrametría y el escaneado 3D constituyen hoy recursos consolidados, respaldados por protocolos de organismos de referencia. Contamos con guías institucionales para la documentación geométrica del patrimonio y su digitalización 3D que van desde las propuestas del IAPH en España [9] hasta los *Guiding Principles* de Getty/RecorDIM, las directrices de Historic England [10-11] o las iniciativas de la UNESCO Chair on Digital Cultural Heritage de la Cyprus University of Technology [12].

A pesar de este despliegue tecnológico, el desfase actual es fundamentalmente de orden metodológico. La discusión internacional y las normativas existentes se centran prioritariamente en la captura, la calidad del dato, el entregable y la gestión de la información (precisión y preservación del registro tridimensional); sin embargo, sigue siendo inusual la definición de estructuras documentales que permitan incorporar esos resultados a la memoria técnica de intervención de forma homogénea, legible y revisable. La carencia principal reside en la ausencia de modelos operativos capaces de traducir los modelos 3D y las ortofotografías en documentos técnicos integrados orgánicamente en el discurso de la conservación-restauración, impidiendo que el registro geométrico se convierta en una base de evidencia duradera sobre la superficie del bien.

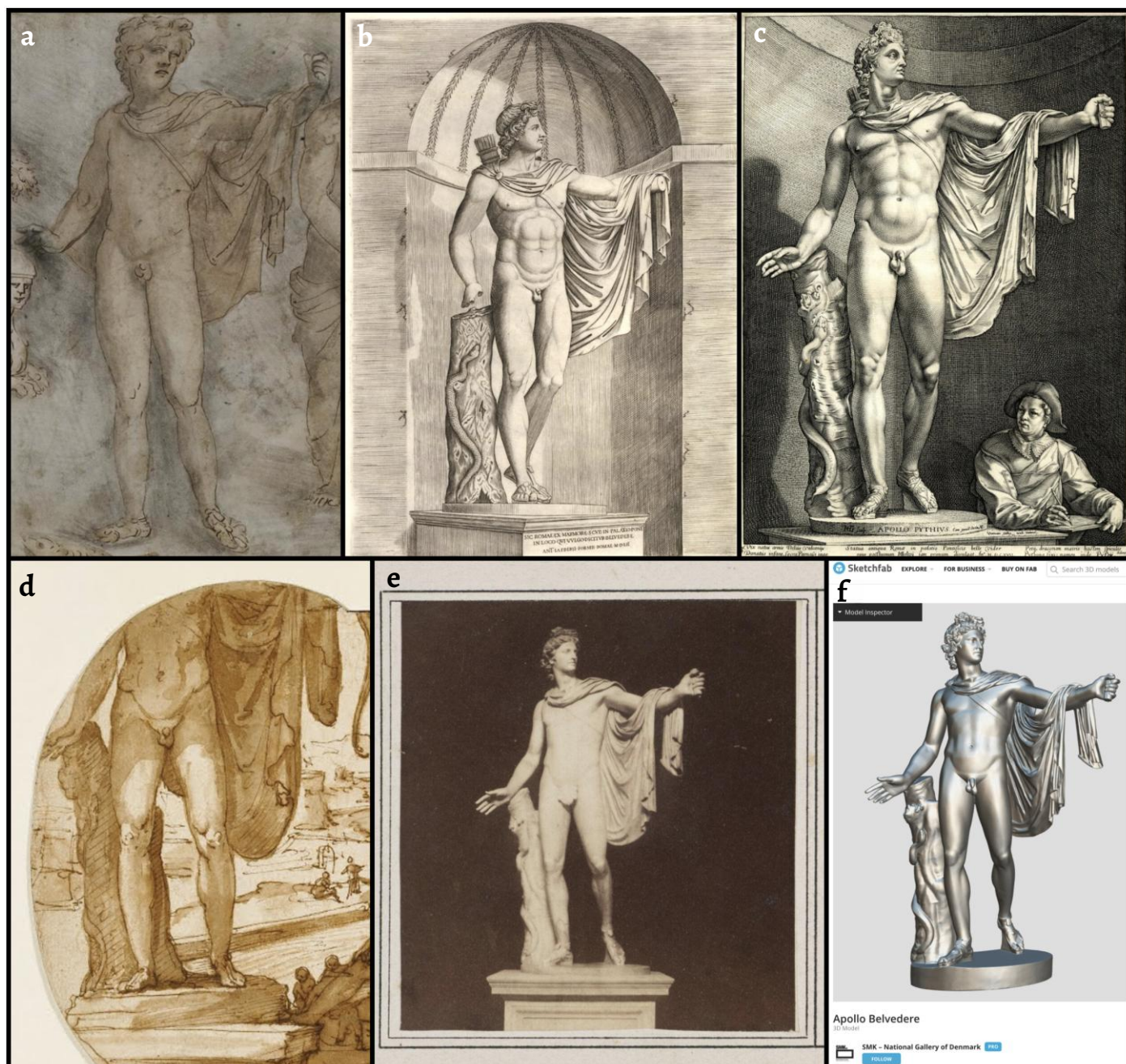


Figura 1. Evolución documental de las representaciones del Apollo Belvedere entre los siglos XVI y XXI: a) Amico Aspertini, Aspertini sketch-book, c. 1532-1535, pluma y tinta marrón, aguada gris y/o marrón sobre vitela, British Museum, reg. 1898,1123.3.15; b) Anónimo, Apollo Belvedere, publicado por Antoine Lafréry en el *Speculum Romanae Magnificentiae*, 1552, grabado, British Museum, reg. 1947,0319.26.151; c) Hendrik Goltzius, Apollo Belvedere, 1592, publicado en 1617, grabado, British Museum, reg. 1854,0513.106 (photos a-c: The Trustees of the British Museum, shared under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International licence); d) Federico Zuccaro, Taddeo in the Belvedere Court in the Vatican Drawing the Laocoön, c. 1595, dibujo a pluma y tinta marrón, aguada marrón, piedra negra y toques de sanguina, The J. Paul Getty Museum, Los Angeles, inv. 99.GA.6.17 (photo: The J. Paul Getty Museum, Open Content); e) Autor desconocido, Apollo Belvedere, fotografía, Victoria and Albert Museum, London, museum no. O201423 (photo: Victoria and Albert Museum, London); f) SMK – National Gallery of Denmark, Apollo Belvedere, modelo 3D de un vaciado en yeso de la Royal Cast Collection, ref. KAS353, publicado en Sketchfab, 2016 (photo: SMK – National Gallery of Denmark, CCo Public Domain).

Propuesta de fichas normalizadas de documentación geométrica para la memoria técnica: revisión de criterios UNE e ISO aplicables

Para que el diseño de las fichas responda a un lenguaje técnico compartido — más allá de criterios estéticos o preferencias personales, este trabajo plantea una reinterpretación crítica de un conjunto de estándares UNE e ISO. Aunque no existe una norma específica para la documentación gráfica escultórica o para la ortofotografía patrimonial, estas directrices

internacionales regulan con precisión los componentes fundamentales de los sistemas de representación técnica. Lejos de trasladarse de forma mecánica desde el ámbito industrial, estas normas se toman como referencias metodológicas para resolver problemas concretos de formato, identificación, disposición de vistas y escala, adaptándolas a la naturaleza material, técnica e histórica de los bienes culturales.

En primer lugar, las normas UNE-EN ISO 5457 [13-14] y UNE-EN ISO 7200 [15] ofrecen un marco útil para el bloque de control documental. La primera permite fijar un formato constante de hoja, delimitando un campo gráfico principal y una zona de control documental estable que favorece una misma lógica de consulta con independencia del contenido específico de cada lámina. Esta organización resulta especialmente pertinente para un sistema modular de fichas. Por su parte, la norma UNE-EN ISO 7200 define el cajetín como el núcleo de identidad y trazabilidad del documento. Su aplicación facilita la sistematización de datos críticos — obra, proyecto, autoría, fecha, número de hoja y estado de revisión, asegurando un vínculo inequívoco entre la ficha y la memoria técnica de intervención.

Un segundo grupo de criterios afecta a la representación geométrica de los bienes tridimensionales. En este punto, la norma UNE-EN ISO 5456-2 [16] (Figura 2) proporciona la referencia para adoptar una disposición estable de vistas ortográficas, reduciendo drásticamente las ambigüedades al documentar objetos volumétricos. La constancia en el orden y orientación de las vistas — alzados, plantas y perfiles mediante el método de proyección del primer diedro — facilita la lectura de la pieza, optimiza la comparación entre diferentes fases del estudio y evita tener que deducir, en cada ficha, el criterio de representación adoptado.

El tercer aspecto fundamental es el control métrico, para el cual la norma UNE-EN ISO 5455 [17] ofrece una base clara. En esta propuesta, dicha referencia exige la incorporación obligatoria de una escala gráfica y su correspondiente unidad de medida, superando la simple designación numérica. De este modo, la ficha conserva su validez documental en distintos soportes — pantalla, impresión o exportación, al ofrecer una referencia métrica explícita que permite comprobar la relación entre imagen, escala y unidad de medida. La escala funciona así, como una condición explícita de verificabilidad, siempre vinculada a la resolución, al formato de salida y a la precisión del registro geométrico de partida.

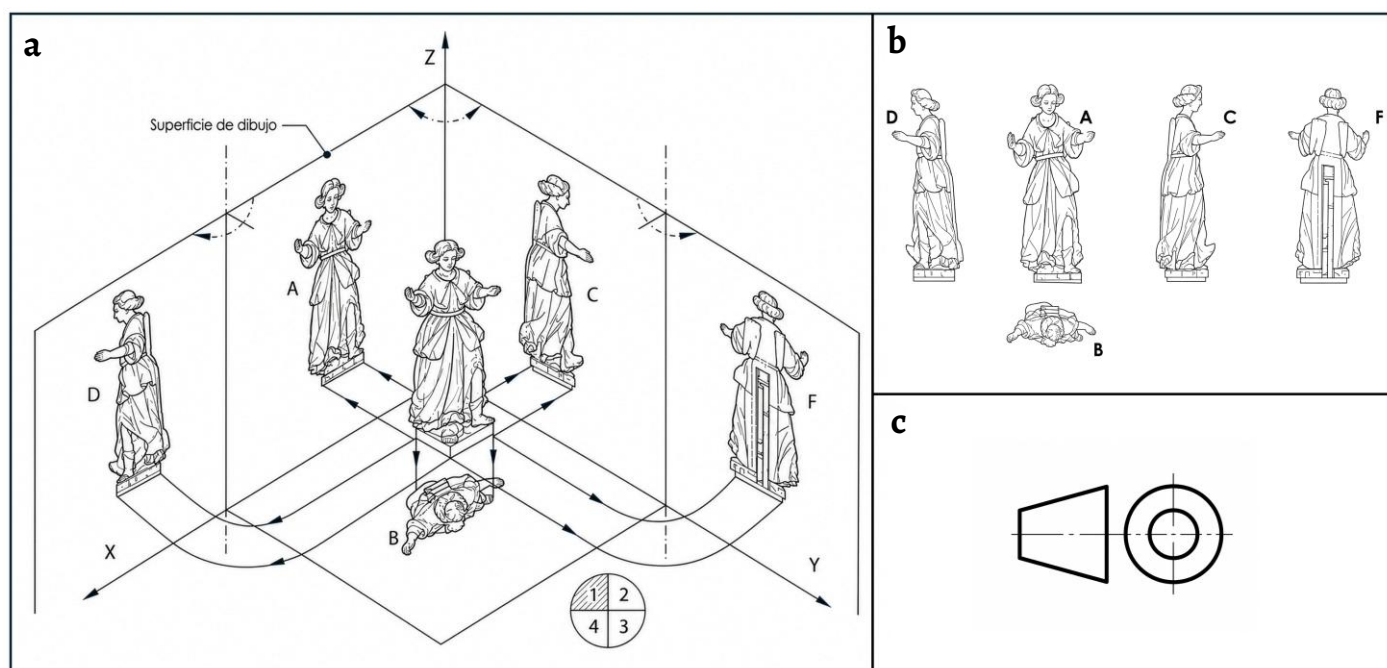


Figura 2. Aplicación del método de proyección ortográfica en primer diedro — sistema europeo — a una escultura exenta: a) esquema espacial de proyección y abatimiento de los planos; b) vistas ortográficas resultantes; c) símbolo gráfico del primer diedro. Modelo 3D, vistas y composición gráfica: elaboración propia, según los criterios de la UNE-EN ISO 5456-2:2000.

Tomadas en conjunto, estas referencias permiten construir una arquitectura documental capaz de integrar recursos como ortofotografías, cartografías, micrografías o secciones estratigráficas en una serie homogénea, coherente y con un nivel superior de claridad, consistencia e inteligibilidad técnica. Bajo el marco normativo analizado, todas las fichas comparten una matriz estructural común que unifica el formato de hoja, el campo gráfico y el bloque de control documental. Para responder a las distintas fases del diagnóstico y tratamiento, esta matriz común se despliega en un sistema modular compuesto por cuatro tipologías de fichas especializadas e interconectadas, diseñadas para cubrir las distintas fases de la intervención de conservación-restauración de una escultura:

- Ficha 1: Vistas generales ortofotográficas de registro geométrico (Luz visible / Luz UV): Destinada a fijar el formato de salida, la escala de referencia general y las vistas ortográficas principales de la escultura (alzados, plantas y perfiles). Actúa como el contenedor de la información primaria del bien bajo diferentes bandas del espectro electromagnético (luz blanca y fluorescencia de luz ultravioleta);
- Ficha 2: Vistas generales de los trazados cartográficos: Un lienzo técnico que utiliza las ortofotografías previas como base geométrica fiel para superponer la información técnico-material, los mapas de daños, el seguimiento y control de los tratamientos de intervención aplicados en la escultura;
- Ficha 3: Mapeo de muestreo y documentación micrográfica: Diseñada para la localización espacial precisa y el registro a macroescala de zonas críticas, detalles de la policromía o patologías puntuales capturadas mediante microscopía, manteniendo la indexación con la ficha general;
- Ficha 4: Mapeo de muestreo y documentación estratigráfica: Orientada específicamente a la referenciación geométrica interna y al análisis de las muestras extraídas para estudios policromos o materiales, vinculando las ventanas de cata y las lecturas de los estratos directamente sobre la matriz geométrica de la obra.

A estos parámetros comunes transversales se incorporan campos específicos variables según la función técnica de cada modelo: desde orientación de vistas y leyendas cartográficas, hasta retículas de localización, identificación de muestras, especificaciones de equipo de registro, aumentos o referencias cruzadas con otros documentos del sistema. Esta organización permite mantener una identidad visual y documental coherente, adaptando cada ficha a su misión diagnóstica sin romper la unidad de la memoria técnica.

Los modelos propuestos han sido implementados y ensayados en el contexto docente y práctico de los laboratorios de la Universidad de Sevilla, específicamente en la asignatura de *Intervención en Escultura* del Grado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Esta procedencia aporta un marco institucional de aplicación y evidencia el carácter operativo del sistema, concebido para responder a situaciones reales de análisis, documentación y diagnóstico sobre obra escultórica.

Para instrumentalizar la matriz común y los cuatro modelos descritos, las fichas se han desarrollado como plantillas modulares en un entorno de edición vectorial, concretamente mediante Adobe Illustrator (Figura 3). Esta elección responde a la disponibilidad de la licencia de este software en el contexto de trabajo y a la capacidad del programa para insertar ortofotografías, cartografías y documentación analítica sin alterar la estructura geométrica ni el marco normativo del documento. El trabajo vectorial permite mantener una base estable y escalable, organizar la información mediante capas temáticas, actualizar contenidos de forma dinámica y evitar que la edición sucesiva degrade la legibilidad del conjunto. Al mismo tiempo, el sistema optimiza el manejo de imágenes técnicas de alta resolución sin incrementar el peso del archivo mediante el uso de archivos vinculados, garantizando la fluidez en la edición de las láminas. No obstante, el sistema no depende de este programa específico: la lógica de plantilla, cajetín, capas, escala y archivos vinculados puede trasladarse a otros entornos vectoriales o de

edición técnica, incluidas alternativas de código abierto, siempre que garanticen trazabilidad, control de versiones, referencias externas y mantenimiento de la escala gráfica.

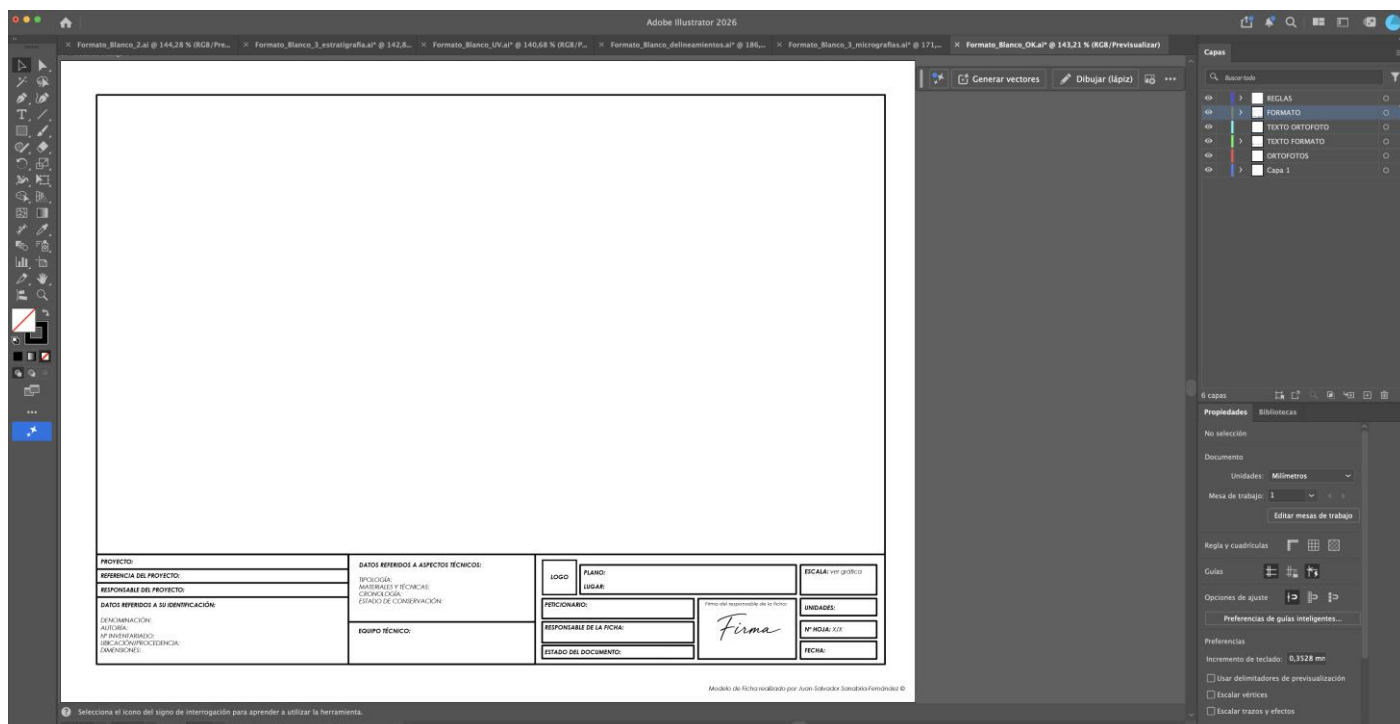


Figura 3. Plantilla base del sistema de fichas normalizadas, desarrollada en entorno de edición vectorial, con campo gráfico principal y bloque de control documental para la identificación, trazabilidad, escala y revisión del documento. Diseño de ficha y composición gráfica: elaboración propia.

Criterios de aplicación y validación operativa del sistema

Para evaluar la viabilidad operativa del sistema y comprobar su capacidad de registro, las plantillas normalizadas han sido validadas experimentalmente en el contexto docente y práctico de los laboratorios de la Universidad de Sevilla, enlazando la formación académica con el trabajo real sobre patrimonio escultórico. Con el objetivo de demostrar el carácter operativo de la propuesta, el presente trabajo expone su aplicación integral en una escultura exenta policromada de bulto redondo, seleccionada por reunir multiplicidad de vistas, continuidad volumétrica, zonas de difícil acceso visual, policromía estratificada y necesidad de correlacionar observaciones generales de superficie con registros micrográficos y estratigráficos puntuales. Dicha obra, denominada como “Mancebo” pertenece a la Hermandad de la O de Sevilla y está atribuida al escultor Pedro Duque Cornejo cuya cronología se enmarca en torno a inicios del siglo XVIII.

En este caso, se evaluó la capacidad del sistema para integrar vistas ortofotográficas, cartografías de alteraciones, registros micrográficos y documentación estratigráfica dentro de una misma lógica de identificación, escala, codificación y trazabilidad. La aplicación sobre la pieza confirmó la claridad de las vistas, la correspondencia entre los puntos de observación y su localización real sobre la obra, la legibilidad de las leyendas y la viabilidad de revisar la información de forma autónoma, sin depender del contexto inmediato de producción del documento.

A partir de esta fase experimental, el método se consolida como una arquitectura documental flexible: mientras el sistema establece criterios constantes de orientación, escala, identificación y relación interna, permite adaptar los campos específicos según las exigencias diagnósticas de cada etapa de trabajo. De este modo, la propuesta se articula en cuatro modelos de fichas especializados que se detallan a continuación:

Ficha 1: Vistas generales ortofotográficas de registro geométrico (luz visible / luz UV)

Esta ficha (Figura 4) constituye la pieza matriz del sistema, concebida como el contenedor técnico que fija la base geométrica tridimensional del bien más allá de una función meramente ilustrativa. Su valor radica en consolidar una superficie de referencia métrica y espacialmente controlada que permite realizar mediciones directas y comparaciones formales con una fiabilidad inaccesible para la fotografía de perspectiva convencional.

La principal ventaja operativa de este modelo es su versatilidad para integrar de forma sincrónica diferentes bandas del espectro electromagnético. Al superponer el registro en luz visible con la fluorescencia de luz ultravioleta sobre la misma matriz geométrica exacta, el conservador-restaurador dispone de una herramienta de examen comparativo inmediato. Esto facilita la lectura técnica de la obra, permitiendo correlacionar anomalías de la superficie, repintes superficiales o transformaciones materiales sin perder en ningún momento la referencia métrica del conjunto.

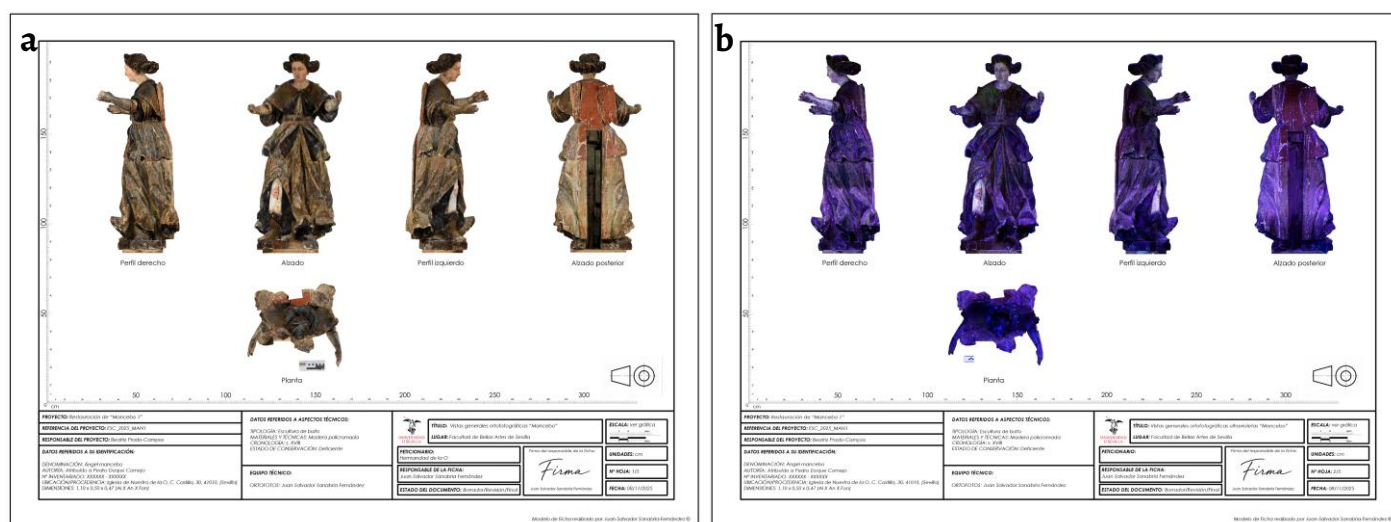


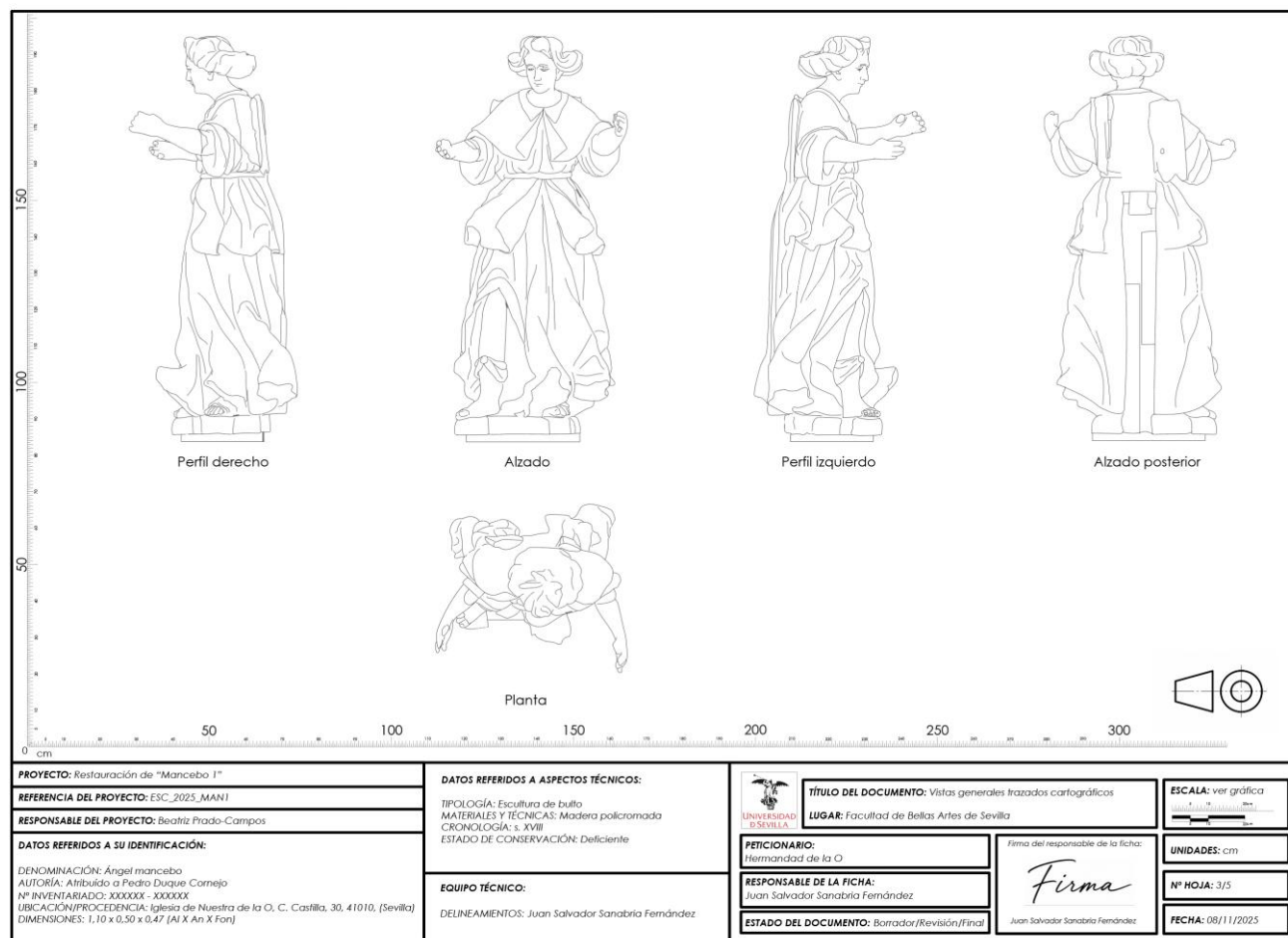
Figura 4. Ficha normalizada de vistas generales ortofotográficas de registro geométrico aplicada a una escultura exenta: a) documentación en luz visible, y b) en fluorescencia ultravioleta. La ficha integra vistas ortográficas derivadas del modelo 3D, escala gráfica, unidad de medida y cajetín de control documental. Modelo 3D, ortofotografías, diseño de ficha y composición gráfica: elaboración propia.

Ficha 2: Vistas generales de los trazados cartográficos

Sobre la base métrica de la ficha anterior, este documento se dedica a la traducción técnica de la superficie. En esta propuesta (Figura 5), el delineamiento vectorial se convierte en la herramienta clave para transformar la observación cualitativa del conservador-restaurador en un registro cuantitativo y localizable. Al cartografiar alteraciones específicas sobre las ortofotos rectificadas, se supera definitivamente la imprecisión y distorsión inherentes al dibujo tradicional a mano alzada o sobre fotografía convencional.

La ventaja metodológica de este modelo no radica solo en la nitidez geométrica del trazado, sino en su capacidad para articular diagnósticos complejos mediante la superposición de capas temáticas.

El sistema permite aislar o cruzar de forma interoperable diferentes niveles de información — como técnica de ejecución, mapas de daños, intervenciones anteriores — sin alterar en ningún momento el documento ortofotográfico de base. De este modo, la cartografía deja de ser una ilustración estática de fin de obra y se consolida como un soporte analítico dinámico, fundamental para la toma de decisiones y el seguimiento evolutivo del estado de conservación del bien.



Modelo de Ficha realizado por Juan-Salvador Sanabria Fernández ©

Figura 5. Ficha normalizada de vistas generales para trazados cartográficos aplicada a un caso de estudio. A partir de la base ortofotográfica del modelo 3D, la ficha muestra el delineamiento vectorial de las principales vistas ortográficas — perfil derecho, alzado, perfil izquierdo, alzado posterior y planta, con escala gráfica, unidad de medida y cajetín de control documental. Modelo 3D, ortofotografías de base, trazados vectoriales, diseño de ficha y composición gráfica: elaboración propia.

Ficha 3: Mapeo de muestreo y documentación micrográfica

Esta ficha (Figura 6) resuelve uno de los problemas más persistentes del laboratorio de restauración: la descontextualización del detalle. Mediante un sistema de retícula de referencia sobre la vista general, cada microfotografía queda vinculada a una ubicación precisa dentro de la geometría de la escultura. La plantilla organiza la información técnica estructurando datos esenciales como el equipo utilizado, los aumentos y localización del registro junto a la descripción del área y las características de los estratos identificados (aspecto general, tono, acabado, morfología, superficie, textura y alteraciones observables). De este modo, la imagen se convierte en un dato técnico anclado físicamente a la escultura, el cual concluye con un campo destinado a la correlación entre la zona analizada y su correspondiente muestra estratigráfica.

UBICACIÓN ESPACIAL DE LAS MUESTRAS:		REGISTRO / UBICACIÓN: NOMBRE DE REGISTRO / RÉTÍCULA + DESCRIPCIÓN DE ZONA EQUIPO / AUMENTOS: DESCRIPCIÓN DEL REGISTRO: "Se documenta [estrato/superficie observada] en [zona / retícula]. Aspecto general: tono [], acabado [mate/satinado/brillante] y apariencia [homogénea/heterogénea]. Textura y morfología: superficie [lisa/granulosa/porosa/compacta/pulverulenta], con [estructuras visibles: estrías, poros, inclusiones, fibras, microrelieve, etc.]. Alteraciones observables: [], con [distribución [puntual/localizada/dispersa/generalizada], patrón [lineal/ramificado/reticular/segun veta/segun relieve/regular] y rasgos [apertura, bordes, depósitos asociados, discontinuidades, microlevantamientos, etc.]. Relación entre capas (si es visible): [separación entre estratos / lagunas / límite de capa / estrato superior discontinuo, etc.]. Elementos superficiales o ajenos: [polvo/suciedad/restos de material/partículas/fibras, etc.]." CORRELACIÓN CON MUESTRA ESTRATIGRÁFICA: "Muestra estratigráfica de referencia: [M-0XX]. Capa(s) visible(s) en este registro: [Capa n - nombre] ([rasgo visual que la identifica: tono/partículas/velo/límite]). Posible capa adicional (si aplica): [Capa m - nombre] ([rasgo]). Inconfundible/nota (si aplica): **[zona transicional / varias capas posibles / no se distingue límite]."
PROYECTO: Restauración de "Mancebo I" REFERENCIA DEL PROYECTO: ESC_2025_MANI RESPONSABLE DEL PROYECTO: Beatriz Prado-Campos DATOS REFERIDOS A SU IDENTIFICACIÓN: DENOMINACIÓN: Ángel mancebo AUTORIA: Atribuido a Pedro Duque Cornejo Nº INVENTARIADO: XXXXXX - XXXXXX UBICACIÓN/PROCEDENCIA: Iglesia de Nuestra de la O, C. Castilla, 30, 41010, [Sevilla] DIMENSIONES: 1,10 x 0,50 x 0,47 [Al X An X Fon]	DATOS REFERIDOS A ASPECTOS TÉCNICOS: TIPOLOGÍA: Escultura de bulto MATERIALES Y TÉCNICAS: Madera policromada CRONOLOGÍA: s. XVIII ESTADO DE CONSERVACIÓN: Deficiente EQUIPO TÉCNICO: DELINEAMIENTO: Juan Salvador Sanabria Fernández ESTRATIGRAFÍAS: Juan Salvador Sanabria Fernández ORTOFOTOS: Juan Salvador Sanabria Fernández MACROFOTOGRAFÍAS: Juan Salvador Sanabria Fernández	TÍTULO: Mapeo de muestreo y documentación micrográfica LUGAR: Facultad de Bellas Artes de Sevilla UNIVERSIDAD: SEVILLA PETICIONARIO: Hermandad de la O RESPONSABLE DE LA FICHA: Juan Salvador Sanabria Fernández ESTADO DEL DOCUMENTO: Borrador/Revisión/Final ESCALA: ver gráfica UNIDADES: cm Nº HOJA: 4/5 FECHA: 08/11/2025 Firma del responsable de la ficha: <i>Firma</i> Juan Salvador Sanabria Fernández

Modelo de ficha realizado por Juan-Salvador Sanabria-Fernández ©

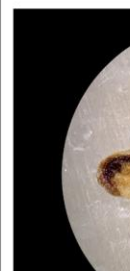
Figura 6. Ficha normalizada de mapeo de muestreo y documentación micrográfica aplicada a una escultura exenta. La lámina integra la localización espacial del registro mediante retícula, las imágenes de detalle de la superficie y los campos descriptivos destinados a documentar ubicación, equipo, aumentos, características observables y correlación con posibles muestras estratigráficas. Modelo 3D, ortofotografía, registros de detalle, diseño de ficha y composición gráfica: elaboración propia.

Ficha 4: Mapeo de muestreo y documentación estratigráfica

Esta ficha (Figura 7) completa el dossier técnico al integrar la información sobre la secuencia de capas pictóricas. Siguiendo la misma lógica de trazabilidad que la ficha anterior, esta ficha se centra en la secuencia material de la policromía. Al correlacionar la ubicación de la muestra con la imagen de la sección estratigráfica y la lectura de sus capas, se facilita que el conservador-restaurador comprenda la obra en toda su complejidad volumétrica. Es el documento donde la forma, el acabado y la materia se encuentran finalmente bajo un mismo estándar documental.

UBICACIÓN ESPACIAL DE LAS MUESTRAS:											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											



MUESTRA / UBICACIÓN: NOMBRE DE MUESTRA / RETÍCULA + DESCRIPCIÓN DE ZONA	EQUIPO / AUMENTOS:	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATIGRAFÍA:
		"Se documenta la sección estratigráfica de la muestra [M-00X] tomada en [zona/retícula]. Se identifica una secuencia de [n] estratos principales, de [espesor global fino/medio/grosso], con límites [nítidos/transicionales]. De interior a exterior [soporte + superficie]: C1 [] [[color/aspecto], [espesor relativo], [textura/inclusiones]]; C2 [] [[]]; C3 [] [[]] ... Cn [] [[]]. Se observan [discontinuidades/lagunas/microfisuras/porosidad/partículas/repinthes] y [tendencias de alteración: separación entre capas, levantamientos, suciedad interestrato, etc.]. La capa superficial corresponde a [bambiz/velo/dépósito/repinthe] [[aspecto]]." CORRELACIÓN CON REGISTRO MICROGRÁFICO: "Muestra micrográfica de referencia: [M-00X]. Capa[s] visible[s] en este registro: [Capa n - nombre] [[rasgo visual que la identifica: tono/partículas/velo/límite]]. Posible capa adicional [si aplica]: [Capa m - nombre] [[rasgo]]. Inconfundible/nota [si aplica]: "[zona transicional / varias capas posibles / no se distingue límite]."
		"Se documenta la sección estratigráfica de la muestra [M-00X] tomada en [zona/retícula]. Se identifica una secuencia de [n] estratos principales, de [espesor global fino/medio/grosso], con límites [nítidos/transicionales]. De interior a exterior [soporte + superficie]: C1 [] [[color/aspecto], [espesor relativo], [textura/inclusiones]]; C2 [] [[]]; C3 [] [[]] ... Cn [] [[]]. Se observan [discontinuidades/lagunas/microfisuras/porosidad/partículas/repinthes] y [tendencias de alteración: separación entre capas, levantamientos, suciedad interestrato, etc.]. La capa superficial corresponde a [bambiz/velo/dépósito/repinthe] [[aspecto]]." CORRELACIÓN CON REGISTRO MICROGRÁFICO: "Muestra micrográfica de referencia: [M-00X]. Capa[s] visible[s] en este registro: [Capa n - nombre] [[rasgo visual que la identifica: tono/partículas/velo/límite]]. Posible capa adicional [si aplica]: [Capa m - nombre] [[rasgo]]. Inconfundible/nota [si aplica]: "[zona transicional / varias capas posibles / no se distingue límite]."

PROYECTO: Restauración de "Mancebo 1" REFERENCIA DEL PROYECTO: ESC_2025_MAN1 RESPONSABLE DEL PROYECTO: Beatriz Prado-Campos DATOS REFERIDOS A SU IDENTIFICACIÓN: DENOMINACIÓN: Ángel mancebo AUTORÍA: Atribuido a Pedro Duque Cornejo Nº INVENTARIADO: XXXXXX - XXXXXX UBICACIÓN/PROCEDENCIA: Iglesia de Nuestra de la O, C. Castilla, 30. 41010, (Sevilla) DIMENSIONES: 1,10 x 0,50 x 0,47 (Al X An X Fon)	DATOS REFERIDOS A ASPECTOS TÉCNICOS: TIPOLOGÍA: Escultura de bulto MATERIALES Y TÉCNICAS: Madera policromada CRONOLOGÍA: s. XVIII ESTADO DE CONSERVACIÓN: Deficiente EQUIPO TÉCNICO: DELINEAMIENTO: Juan Salvador Sanabria Fernández ESTRATIGRAFÍAS: Juan Salvador Sanabria Fernández ORTOFOTOS: Juan Salvador Sanabria Fernández ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO: Juan Salvador Sanabria Fernández	 TÍTULO: Mapeo de muestreo y documentación estratigráfica LUGAR: Facultad de Bellas Artes de Sevilla <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"> PETICIONARIO: Hermandad de la O </td> <td style="width: 50%;"> ESTADO DEL DOCUMENTO: Borrador / Revisión / Final </td> </tr> </table>	PETICIONARIO: Hermandad de la O	ESTADO DEL DOCUMENTO: Borrador / Revisión / Final
PETICIONARIO: Hermandad de la O	ESTADO DEL DOCUMENTO: Borrador / Revisión / Final			

ESCALA: ver gráfica 	UNIDADES: cm Nº HOJA: 5/5 FECHA: 08/11/2025
---	--

Modelo de Ficha realizado por Juan-Salvador Sanabria-Fernández ©

Figura 7. Ficha normalizada de mapeo de muestreo y documentación estratigráfica aplicada a una escultura exenta. La lámina integra la localización espacial de las muestras mediante retícula, el registro microscópico de las secciones estratigráficas y los campos descriptivos destinados a documentar ubicación, equipo, aumentos, secuencia material observada y correlación con el registro micrográfico. Modelo 3D, ortofotografía, registros estratigráficos, diseño de ficha y composición gráfica: elaboración propia.

Conclusiones

El sistema de fichas normalizadas propuesto permite abordar una de las principales dificultades de la documentación aplicada a bienes tridimensionales: la integración de registros geométricos, gráficos y analíticos en una estructura común de lectura y control. Las fichas no sustituyen al modelo 3D interactivo, sino que lo complementan al convertir determinados productos derivados del registro tridimensional en documentos 2D de uso más sencillo y accesible para un grupo más amplio de personal, evitando la posible imposibilidad de empleo de los materiales 3D por falta de recursos o equipos muy especializados. Frente a la tendencia a priorizar el mero impacto visual o la espectacularidad de la digitalización 3D, este trabajo fundamenta la necesidad de incorporar dichos productos a la memoria técnica de intervención mediante documentos normalizados, trazables y comprensibles para los distintos agentes implicados en el proceso de conservación-restauración. Documentar, en este contexto, significa fijar conocimiento, establecer qué es visible y verificar qué constituye una evidencia; solo de este modo la ortofotografía deja de operar únicamente como una imagen corregida para convertirse en una verdadera base de trabajo sobre la que localizar, relacionar y revisar información técnica de forma inequívoca

Tabla 1. Relación de fichas normalizadas propuestas para la documentación geométrica y técnica de bienes escultóricos, especificando el contenido principal de cada modelo, su finalidad dentro de la memoria de intervención y los criterios UNE/ISO empleados como referencia metodológica.

Ficha	Contenido principal	Finalidad documental	Criterios UNE/ISO principalmente implicados
1. Vistas generales ortofotográficas de registro geométrico	Vistas ortográficas generales derivadas del modelo 3D, escala gráfica, identificación de vistas, datos de control documental	Establecer la base geométrica común del expediente y fijar orientación, medición y comparabilidad espacial	UNE-EN ISO 5457 (formato de hoja), UNE-EN ISO 7200 (cajetín e identificación), UNE-EN ISO 5456-2 (disposición de vistas), UNE-EN ISO 5455 (escala)
2. Vistas generales de trazados cartográficos	Delineamiento vectorial de alteraciones, lagunas, desgastes, depósitos, leyenda gráfica, codificación temática	Traducir la observación superficial a cartografía técnica localizable, revisable y comparable	UNE-EN ISO 5457, UNE-EN ISO 7200, UNE-EN ISO 5456-2, UNE-EN ISO 5455
3. Mapeo de muestreo y documentación micrográfica	Retícula de localización, micrografías, aumentos, equipo, descripción técnica del registro, correlación con muestra	Contextualizar el detalle microscópico y vincularlo a una ubicación precisa sobre la obra	UNE-EN ISO 5457, UNE-EN ISO 7200, UNE-EN ISO 5455; criterio interno de codificación y referencias cruzadas
4. Mapeo de muestreo y documentación estratigráfica	Retícula de localización, imagen de sección estratigráfica, lectura de capas, correlación con micrografía y muestra	Relacionar la muestra con su secuencia material y con su posición exacta en la obra	UNE-EN ISO 5457, UNE-EN ISO 7200, UNE-EN ISO 5455; criterio interno de codificación, jerarquía y trazabilidad analítica

La revisión e interpretación crítica de los criterios UNE e ISO (Tabla 1) proporciona una base operativa eficiente para sistematizar aspectos esenciales del documento, tales como el formato, la identificación, la disposición de vistas, la escala y la relación entre fichas. Esta aproximación se define como una adaptación metodológica rigurosa que reduce ambigüedades y refuerza la coherencia interna del expediente patrimonial, superando la traslación literal o mecánica del dibujo técnico industrial. Al ofrecer un lenguaje visual y documental compartido, se evita el riesgo de que el expediente se convierta en una suma de materiales heterogéneos y fragmentados que comprometan la trazabilidad o dificulten la auditoría por parte de terceros.

La organización del sistema en estos cuatro modelos de ficha — vistas ortofotográficas, cartografías, documentación micrográfica y documentación estratigráfica — permite mantener una continuidad estricta entre la lectura general de la obra y sus niveles específicos de análisis. Esta correspondencia resulta especialmente relevante en escultura, donde la forma, la superficie, la orientación y la materialidad no pueden entenderse de manera aislada. No obstante, aunque la propuesta se ha validado y ejemplificado a través de un caso de estudio escultórico debido a su alta complejidad volumétrica, la arquitectura de las plantillas y la lógica del bloque de control son plenamente transferibles y extrapolables a otras tipologías del patrimonio cultural — como relieves, retablos, pintura mural o elementos arquitectónicos — que compartan la necesidad de un registro geométrico riguroso. La implementación práctica de la propuesta demuestra que el uso de entornos vectoriales y archivos vinculados trasciende el orden estético; constituye una solución operativa que optimiza el manejo de imágenes de alta resolución sin incrementar el peso de los archivos, garantizando la fluidez, la interoperabilidad digital, la impresión a escala y la actualización constante del expediente por parte de equipos multidisciplinares en el contexto de laboratorios y entornos reales de trabajo como el de la Universidad de Sevilla.

Por otra parte, la utilidad del método radica en su capacidad para proporcionar una arquitectura flexible y adaptable que agilice, en lugar de burocratizar, el proceso documental. No obstante, la eficacia del sistema permanece estrictamente supeditada a la calidad de los registros geométricos de partida y a la coherencia en la aplicación de sus criterios internos. La precisión final de las fichas estará siempre condicionada por variables críticas como la

resolución de las ortofotografías, la fiabilidad métrica del modelo 3D, el control estricto de la escala o la propia accesibilidad física de la superficie documentada. Como se ha evidenciado en el desarrollo del trabajo, la presencia de zonas ocultas, superficies con geometrías de extrema complejidad o áreas con información visual deficiente requerirán siempre soluciones específicas y registros complementarios.

Por todo ello, se concluye que la normalización propuesta no busca automatizar el registro ni sustituir el diagnóstico del especialista; al contrario, su valor fundamental reside en respaldar y dotar de rigor el criterio técnico del conservador-restaurador, ofreciendo una estructura común desde la cual hacer explícitas las condiciones, los alcances y las limitaciones reales del documento generado. En el ámbito del patrimonio cultural, donde la documentación debe sostener de forma razonada, verificable y duradera cada decisión adoptada durante la intervención de conservación-restauración, la normalización se alza como una garantía directa de calidad científica. Allí donde la documentación es débil, la memoria técnica se vuelve frágil; si el registro es impreciso o confunde un indicio de precisión con una capacidad de medida real, se debilita irremediabilmente la capacidad de conocer, comparar y, en último término, conservar los bienes con plena responsabilidad. Como desarrollo futuro, esta arquitectura documental podría ampliarse mediante criterios de nomenclatura, versionado, intercambio y gestión de la información inspirados en una adaptación crítica de la serie ISO 19650 a los flujos de documentación del patrimonio tridimensional [18].

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Hermandad de la O de Sevilla por la confianza depositada en el equipo investigador de la Universidad de Sevilla y por las facilidades ofrecidas para el estudio y documentación de la escultura analizada. Parte de la investigación presentada en este artículo se ha desarrollado en el marco del Convenio de Colaboración suscrito entre la Universidad de Sevilla y la citada corporación, aprobado por Acuerdo 10 del Consejo de Gobierno de la Universidad de Sevilla de 27 de septiembre de 2022 y firmado el 19 de noviembre de 2024.

Disponibilidad de datos / Data availability statement

Las plantillas vacías de fichas normalizadas desarrolladas en este estudio están disponibles en Zenodo: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21226547>. La documentación técnica adicional vinculada al caso de estudio, incluidos los archivos completos del proyecto, ortofotografías, cartografías, micrografías, registros estratigráficos y materiales derivados del registro 3D, podrá facilitarse previa solicitud razonada al autor de correspondencia, siempre que sea compatible con los derechos de imagen, la propiedad intelectual, los requisitos de conservación y las políticas de acceso de las instituciones o entidades implicadas.

REFERENCIAS

1. ICOMOS, *International charter for the conservation and restoration of monuments and sites (Carta de Venecia)*, ICOMOS, Venecia (1964).
2. ICOMOS, *Principles for the recording of monuments, groups of buildings and sites*, ICOMOS, Sofia (1996).
3. E.C.C.O., *E.C.C.O. Professional guidelines I: the profession*, European Confederation of Conservator-Restorers' Organisations, Bruselas (2002).
4. UNE-EN 16095:2016. Conservación del patrimonio cultural. Informe del estado del patrimonio cultural mueble, in AENOR (2016), [UNE-EN 16095:2016 - Tienda AENOR](https://www.aenor.es/UNE-EN-16095-2016) (acceso en 2026-07-20).
5. Schmid, W., *GraDoc: graphic documentation systems in mural painting conservation: research seminar, Rome 16-20 November 1999*, ed. W. Schmid, International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property, Roma (1999).
6. Letellier, R.; Schmid, W.; Leblanc, F., *Recording, documentation, and information management for the conservation of heritage places guiding principles*, The Getty. Los Angeles (2007), https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/guiding_principles.pdf (acceso en 2026-05-30).
7. Sánchez Fernández, A. J.; Prado-Campos, B., 'Packaging design for cultural objects: photogrammetry templates procedure', *Conservar Património* **32** (2018) 8-17, <https://doi.org/10.14568/cp2018016>.
8. Díaz Parrilla, S.; Sánchez Fernández, A. J.; Torre Cantero, J. L. de la, 'An approach to HBIM methodology applied to the conservation of altarpieces: two case studies in the Canary Islands', *Conservar Património* **42** (2023) 81-97, <https://doi.org/10.14568/cp27293>.
9. 'Recomendaciones técnicas. 07 Recomendaciones técnicas para la documentación geométrica de entidades patrimoniales', in *Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico* (2011), http://www.iaph.es/export/sites/default/galerias/patrimonio-cultural/documentos/gestion-informacion/recomendaciones_tecnicas_documentacionm_geométrica..pdf (acceso en 2026-06-04).
10. Historic England, *Photogrammetric applications for cultural heritage. Guidance for good practice*, Historic England, Swindon (2017).
11. Historic England, *3D laser scanning for heritage. Advice and guidance on the use of laser scanning in archaeology and architecture*, Historic England, Swindon (2018).

12. Comisión Europea, D. G. de R. de C. C. y T., *Study on quality in 3D digitisation of tangible cultural heritage: mapping parameters, formats, standards, benchmarks, methodologies, and guidelines*. VIGIE 2020/645, Final study report, Luxemburgo (2020).
13. 'UNE-EN ISO 5457:2000. Documentación técnica de producto. Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo (ISO 5457:1999)', in AENOR (2000), [UNE-EN ISO 5457:2000 - Tienda AENOR](#) (acceso en 2026-07-20).
14. 'UNE-EN ISO 5457:2000/A1. Documentación técnica de producto. Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo. Modificación 1 (ISO 5457:1999/Amd 1:2010)', in AENOR (2010), [UNE-EN ISO 5457:2000/A1:2010 - Tienda AENOR](#) (acceso en 2026-07-20).
15. 'UNE-EN ISO 7200:2004. Documentación técnica de productos. Campos de datos en bloques de títulos y en cabeceras de documentos (ISO 7200:2004)', in AENOR (2004), [UNE-EN ISO 7200:2004 - Tienda AENOR](#) (acceso en 2026-07-20).
16. 'UNE-EN ISO 5456-2:2000. Dibujos técnicos. Métodos de proyección. Parte 2: Representaciones ortográficas (ISO 5456-2:1996)', in AENOR (2000), [UNE-EN ISO 5456-2:2000 Dibujos técnicos. Métodos de proyección...](#) (acceso en 2026-07-20).
17. 'UNE-EN ISO 5455:1996. Dibujos técnicos. Escalas (ISO 5455:1979)', in AENOR (1996), [UNE-EN ISO 5455:1996 - Tienda AENOR](#) (acceso en 2026-07-20).
18. 'UNE-EN ISO 19650-1:2019. Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling). Parte 1: Conceptos y principios. (ISO 19650-1:2018)', in AENOR (2019), [UNE-EN ISO 19650-1:2019 - Tienda AENOR](#) (acceso en 2026-07-20).

RECIBIDO: 2026.6.10

REVISTO: 2026.6.26

ACEPTADO: 2026.7.13

ONLINE: 2026.9.15



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
AtribuciónNoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.
Para ver una copia de esta licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

La regulación profesional del conservador-restaurador en el contexto ibérico: análisis comparativo España-Portugal (2024)

Regulamentação profissional dos conservadores-restauradores no contexto ibérico: análise comparativa Espanha-Portugal (2024)

Professional regulation of conservation-restorers in the Iberian context: comparative analysis Spain-Portugal (2024)

MARÍA TRIGO-PEINADO* 
ELISA-ISABEL GAVARI-STARKIE 

UNED (Universidad Nacional de Educación a Distancia), Facultad de Educación, Dpto. De Educación Comparada, C/ Juan del Rosal, 14 28040, Madrid, España

*mtrigo87@alumno.uned.es

Resumen

La regulación de la profesión de conservador-restaurador en España y Portugal presenta trayectorias divergentes que responden a necesidades comunes en el contexto europeo actual. Mientras España mantiene la ausencia de regulación profesional específica tras cuatro décadas de legislación patrimonial sin reforma, Portugal ha establecido recientemente una regulación integral y pionera mediante el Decreto-Lei n.º 90/2024 (2024), vigente desde el 23 de noviembre de 2024. Este análisis comparativo histórico-legislativo evidencia una paradoja fundamental: Portugal regula la profesión mientras España regula exclusivamente la formación, demostrando que la armonización efectiva requiere necesariamente la integración sistémica de formación, regulación profesional y legislación patrimonial. Mediante el análisis documental de las normativas nacionales, marcos europeos comparativos y las directrices y estándares E.C.C.O./ENCoRE, se identifica que el modelo regulatorio portugués de 2024 es significativamente más transferible a España que los modelos italiano o francés debido a su mayor compatibilidad con los sistemas descentralizados.

Resumo

A regulamentação da profissão de conservador-restaurador em Espanha e Portugal apresenta trajetórias divergentes que respondem a necessidades comuns no contexto europeu atual. Enquanto a Espanha mantém a ausência de regulamentação profissional específica após quatro décadas de legislação patrimonial sem reformas, Portugal estabeleceu recentemente uma regulamentação integral e pioneira através do Decreto-Lei n.º 90/2024 (2024), em vigor desde 23 de novembro de 2024. Esta análise comparativa histórico-legislativa evidencia um paradoxo fundamental: Portugal regula a profissão, enquanto a Espanha regula exclusivamente a formação, demonstrando que a harmonização efetiva requer necessariamente a integração sistémica da formação, da regulamentação profissional e da legislação patrimonial. Através da análise documental das normativas nacionais, dos quadros europeus comparativos e das diretrizes e normas E.C.C.O./ENCoRE, identifica-se que o modelo regulamentar português de 2024 é significativamente mais transponível para Espanha do que os modelos italiano ou francês, devido à sua maior compatibilidade com os sistemas descentralizados.

Abstract

The professional regulation of conservation-restorers in Spain and Portugal presents divergent trajectories addressing shared needs within the contemporary European context. Whilst Spain maintains the absence of specific professional regulation after four decades of heritage legislation without reform, Portugal has recently established pioneering comprehensive regulation through Decreto-Lei n.º 90/2024 (2024), effective from 23 November 2024. This comparative historical-legislative analysis evidences a fundamental paradox: Portugal regulates the profession whilst Spain regulates exclusively training, demonstrating that effective harmonisation necessarily requires systemic integration of education, professional regulation, and heritage legislation. Through documentary analysis of national regulations, comparative European frameworks, and E.C.C.O./ENCoRE directives and standards, the Portuguese 2024 regulatory model is identified as significantly more transferable to Spain than Italian or French models due to greater compatibility with decentralised systems.

PALABRAS-CLAVE

Regulación profesional
 Conservación-restauración
 Legislación comparada
 Portugal
 Decreto-Lei 90/2024
 Armonización europea

PALAVRAS-CHAVE

Regulamentação profissional
 Conservação e restauro
 Legislação comparada
 Portugal
 Decreto-Lei n.º 90/2024
 Harmonização europeia

KEYWORDS

Professional regulation
 Conservation-restoration
 Comparative legislation
 Portugal
 Decreto-Lei 90/2024
 European harmonisation

Introducción

La profesión de conservador-restaurador de bienes culturales experimenta actualmente, en el contexto ibérico un momento de inflexión crítica caracterizado por el desarrollo de legislaciones divergentes que responden simultáneamente a necesidades comunes. España, tras 40 años de vigencia de la Ley 16/1985 del Patrimonio Histórico [1] sin una reforma sustancial que aborde la regulación profesional específica, mantiene un escenario persistente de indefinición legal que tiene como consecuencia el intrusismo desde otras categorías profesionales (arquitectos, arqueólogos), especialmente en el ámbito del patrimonio inmueble [2]. Esta realidad contrasta de manera drástica con la acción legislativa portuguesa reciente: el Decreto-Lei n.º 90/2024 [3], promulgado el 22 de noviembre de 2024 y vigente desde el 23 de noviembre de 2024, define explícitamente las titulaciones habilitantes para el ejercicio profesional en el Artículo 18, 2. Además, tanto para la elaboración de los informes previos (Art 5, 2 del DL 90/2024), como para la dirección de obra (Art 22, del DL 90/2024), exige cinco años de experiencia profesional post-titulación verificable. Este nuevo Decreto Lei protege de manera legal el título profesional de "conservador-restaurador" (Art 18, 2 del DL 90/2024) y regula la intervención en bienes culturales inmuebles en comparación con otros marcos de regulación referentes, como el italiano (Art. 29, comma 6 del Codice dei beni culturali) [4].

En España, las titulaciones en Conservación-restauración (CR) se imparten tanto por las universidades, que ofrecen estudios de Grado en CR, como por las Escuelas Superiores de Conservación y Restauración de Bienes Culturales (ESCRBC). Pero no será hasta la aprobación de la Ley 1/2024, de 7 de junio [5], que podamos hablar de una equiparación académica efectiva entre las Enseñanzas Artísticas Superiores y el sistema universitario. Sin embargo, esta ley aborda exclusivamente cuestiones relativas a la formación académica, perpetuando la ausencia histórica de regulación profesional que caracteriza a España desde hace cuatro décadas. En el panorama actual coexiste con una regulación profesional portuguesa más rigurosa y completa, obstaculizando la movilidad profesional efectiva entre ambos países ibéricos y evidenciando claramente que la armonización legislativa efectiva requiere algo más que simples equivalencias curriculares o académicas.

Marco teórico y contexto normativo

Concepto de profesionalización y regulación en disciplinas del patrimonio cultural

La literatura especializada sobre profesionalización [6] establece una distinción teórica fundamental entre los tres componentes que caracterizan a una profesión consolidada: el conocimiento especializado verificable (acceso controlado mediante formación certificada), la autonomía técnica (discrecionalidad en decisiones profesionales), y el control jurisdiccional (mecanismos institucionalizados de regulación de acceso y conducta profesional). El sociólogo Freidson, en su obra sobre profesionalismo, denomina "profesionalización incompleta" a aquellas situaciones donde existen dos de los componentes sin la presencia de un tercero [6]. Esta categoría descriptiva caracteriza históricamente a España: los profesionales en CR poseen un conocimiento especializado reconocido mediante titulaciones académicas, poseen autonomía técnica para tomar decisiones sobre intervenciones en patrimonio, pero carecen del control jurisdiccional necesario, es decir, no existe barrera legal de acceso a la profesión ni un mecanismo disciplinario para sancionar el ejercicio inadecuado.

En el contexto específico del patrimonio cultural europeo del mediterráneo occidental, la tendencia dominante desde los años 1990 ha sido hacia la integración sistémica de las tres dimensiones regulatorias, que funcionan de manera complementaria: la legislación patrimonial (que define qué intervenciones requieren cualificación específica), la formación académica (que establece contenidos, duración y certificación), y la regulación profesional (que controla el acceso y ejercicio). Italia [4], Francia [7] y Portugal [3] ejemplifican de maneras distintas esta integración sistémica de las tres dimensiones. España, por el contrario, mantiene

una desarticulación evidente: su legislación patrimonial no exige titulación específica para la regulación de las intervenciones en bienes protegidos. Y, si bien la formación académica ha sido progresivamente equiparada mediante reformas recientes [5], regulación de las intervenciones en CR permanece como una cuestión legislativa pendiente tras cuatro décadas.

Marcos regulatorios del contexto mediterráneo occidental: Italia, Francia, Malta, España y Portugal

Para comprender adecuadamente el contexto europeo en el cual se insertan las regulaciones española y portuguesa, resulta esencial examinar algunos de los modelos consolidados, como el italiano y el francés. Italia estableció su régimen regulatorio mediante el Decreto Legislativo 42/2004 [4], que define al conservador-restaurador mediante la institución del *albo professionale* (registro profesional obligatorio). Este marco requiere de los profesionales la posesión de una *laurea* (licenciatura italiana de tres-cuatro años) seguida de una *laurea magistrale* (máster de dos años). El sistema italiano asigna competencias exclusivas a los conservadores-restauradores para las intervenciones en bienes culturales catalogados. Francia, por su parte, desarrolló un sistema selectivo menos centralizado, regulado en el *Code du Patrimoine* de 2004 y actualizado en 2016 [7]. El modelo francés funciona mediante un sistema dual: centros estatales como el *Institut National du Patrimoine* (INP) proporcionan formación de excelencia con sólo 30-40 plazas, mientras que las universidades francesas ofrecen programas de máster en CR. Frente a esta dualidad formativa, la regulación francesa se implementa mediante una acreditación ministerial denominada *label restaurateur du patrimoine*. Francia ha consolidado un modelo basado en un número de plazas reducido y pruebas de acceso exigentes, limitando el acceso a la profesión con una ratio de alumnos baja desde el inicio, pero regulando únicamente la actividad laboral en relación a los museos públicos.

Un tercer caso, de menor escala demográfica pero regulatoriamente significativo, es Malta, que ha articulado la figura del *warranted conservator-restorer* dentro del *Cultural Heritage Act* (Cap. 445) [8], donde se define al conservador-restaurador como un profesional cualificado que debe estar en posesión de una orden expedida por el *Bord tal-Warrant tar-Restawraturi* y se establece que las intervenciones de CR sobre patrimonio mueble sólo pueden ser ejecutadas por profesionales habilitados.

Portugal, hasta muy recientemente, se encontraba en una situación más parecida a la actual de España. El Decreto-Lei n.º 140/2009 [9] dictado para desarrollar la Lei n.º 107/2001, de 8 de setembro (Lei de Bases do Património Cultural), establecía un régimen jurídico para intervenciones en bienes culturales, pero sin definir explícitamente qué titulaciones habilitaban para el ejercicio profesional, permitiendo interpretaciones laxas. Esta indefinición regulatoria portuguesa duró 15 años (2009-2024), un período significativamente más breve que la indefinición española de 40 años, pero comparable en su carácter fundamental.

El cambio regulatorio portugués de 2024, mediante el Decreto-Lei n.º 90/2024 [3], que entró en vigor el 23 de noviembre de 2024, representa un salto legislativo extraordinario. Este nuevo marco establece cuatro vías formativas específicas para acceder a la profesión de conservador-restaurador: licenciatura más máster en *conservação e restauro* (conforme a la Declaración de Bolonia); licenciatura pre-Bolonia en *conservação e restauro*; grado en *conservação e restauro* (para ingreso hasta 1997); y la homologación de formaciones superiores extranjeras reconocidas por Decreto-Lei 66/2018 [10]. Se requiere además de una experiencia profesional verificable de cinco años post-titulación en el área de especialidad respectiva para la efectiva habilitación de la profesión como especialista. Esta reforma, protege de manera legal el título profesional "en CR", permitiendo que solo los profesionales que cumplan los requisitos ejerzan. Regula las intervenciones en bienes inmuebles clasificados (artículo 15-a), determinando que requieren de conservadores-restauradores cualificados. Incluye una disposición transitoria de tres años para reconocer profesionales con un mínimo de diez años de experiencia demostrables en caso de no poseer la titulación reglamentaria. Alinea explícitamente el nivel formativo con EQF 7/MECES 3, equivalente a máster europeo, basado en los 180 ECTS de licenciatura más los 120 ECTS de máster (cinco años totales).

En relación con los estándares establecidos por la Confederación Europea de Organizaciones de Conservadores-Restauradores (E.C.C.O., fundada en 1991) y la Red Europea de Formación en Conservación-Restauración (ENCoRE, establecida en 1997), estos organismos establecen directrices que van más allá de las equivalencias formales. Las directrices profesionales de E.C.C.O. (2002-2003) exigen un mínimo de nivel de máster (nivel MEC 7), formación universitaria validada por gobiernos, competencias documentadas en diagnóstico, conservación preventiva y restauración, y adhesión a un código ético basado en la integridad física, histórica y estética del patrimonio. Los estándares de formación de E.C.C.O./ ENCoRE (2014) [11] requieren un equilibrio necesario entre la teoría y la carga práctica con obra original bajo tutoría de profesionales conservadores, la evaluación de destreza manual en pruebas de acceso, y la participación en proyectos tutorizados completos.

Comparativamente, Italia cumple plenamente tanto con las directrices [12] (máster obligatorio) como con los estándares [13] E.C.C.O. (aproximadamente 1.500 horas de práctica certificada, estipulando que la formación debe basarse en “actividades técnico-didácticas de conservación y restauración realizadas en el laboratorio y *in situ* sobre bienes culturales muebles y superficies decoradas de bienes arquitectónicos”, según el Artículo 1.1 del Decreto 26 maggio 2009, n. 87 [14]). Francia asimismo cumple con ambos conjuntos de estándares, aunque con cierta variabilidad en la carga práctica (INP: aprox. 1.200 horas entre el stage de 12 semanas del 3er año y el stage de 22 semanas del 4º año [15]; universidades: variable [16]). El modelo portugués funciona en un escenario parcial: cumple con las directrices de nivel de formación conforme a la Declaración de Bolonia, pero no especifica completamente la carga práctica en el nuevo Decreto-Lei 90/2024 [3], variando esta entre instituciones. España, por su parte, incumple ambos conjuntos de estándares: permite el acceso a la titulación en CR con un nivel MECES 6, sin requerir máster obligatorio para los contratos públicos, e incumple los estándares E.C.C.O. [13] con una carga de horas prácticas variable dependiendo de la institución [16], siendo en algunas universidades, las prácticas externas materia optativa a cursar.

Evolución legislativa y marcos regulatorios

Evolución legislativa en España (1985-2024)

La trayectoria legislativa española en materia de CR muestra un patrón de reconocimiento progresivo de formación sin una traducción efectiva en la regulación profesional del ejercicio. En 1985, la Ley 16/1985 del Patrimonio Histórico Español [1] estableció un marco general de protección patrimonial a nivel nacional, pero no definió la profesión del conservador-restaurador. El artículo 39 de esta ley exige que intervenciones en patrimonio histórico sean realizadas con “criterios científicos y técnicos”, pero sin especificar ninguna titulación o cualificación requerida. Esta redacción permitió que arquitectos, historiadores del arte y arqueólogos realizaran intervenciones de CR sin formación específica. La ley ha permanecido vigente durante 39 años sin una reforma sustancial en cuanto a aspectos de regulación de las intervenciones en CR.

En 1990, la promulgación de la Ley Orgánica 1/1990 de Ordenación General del Sistema Educativo (LOGSE) [17] representó el primer reconocimiento oficial de formación específica en CR.

Mediante el Real Decreto 1387/1991 [18] se crearon las Escuelas Superiores de Conservación y Restauración de Bienes Culturales (ESCRBC), que otorgaban titulaciones con equivalencia a diplomatura (tres años de formación). Esta innovación generó una dualidad formativa que persiste hasta la actualidad: formación en ESCRBC versus formación universitaria en facultades de Bellas Artes con especialización en CR. Sin embargo, ambas vías coexistían sin colegio profesional ni definición legal de competencias exclusivas derivadas de la formación.

En 2010, mediante el Real Decreto 635/2010 [19], se implementó la adaptación española a la Declaración de Bolonia. Esto generó el Grado en CR (240 ECTS, cuatro años), derogando de facto la licenciatura en Bellas Artes con especialización. Las disposiciones de Bolonia requirieron un mínimo de 105 ECTS en formación básica y 53 ECTS en formación especializada.

Ambas vías formativas (ESCRBC y Universidad) emitirían a partir de entonces títulos formalmente equivalentes a grado, permitiendo el acceso a una formación superior. A pesar de estos esfuerzos de equiparación con estándares europeos, el Real Decreto 635/2010 [19] no definió las competencias profesionales específicas, lo cual podría haber servido para una mayor regulación posterior. Si bien, no era objeto de esta Ley la regulación de las intervenciones en CR.

En 2024, la promulgación de la Ley 1/2024 de Regulación de Enseñanzas Artísticas Superiores [5] completó la equiparación académica. La ley integró completamente la formación en ESCRBC dentro de la Clasificación Nacional de Cualificaciones (MECES) como grado equivalente al grado universitario, permitiendo el acceso efectivo a formación de máster y doctorado, reforzando la autonomía curricular y función investigadora. Sin embargo, como ocurrió con legislaciones anteriores, esta reforma abordó exclusivamente cuestiones de formación académica y no incluyó regulación de las intervenciones en CR. La legislación patrimonial de base, la Ley 16/1985 [1], ha permanecido sin una reforma sustancial durante todo este tiempo.

En síntesis, España ha acumulado 40 años de formación progresivamente reconocida académicamente sin lograr una traducción efectiva en cuanto a la regulación del ejercicio profesional. La Ley 1/2024 [5], aunque importante, constituye una condición académica necesaria pero insuficiente para la convergencia europea en la profesión. Los conservadores-restauradores españoles poseen formación reconocida, pero sin barreras legales de acceso a la profesión, permitiendo que profesionales con formación afín (arquitectos, historiadores, arqueólogos) realicen intervenciones de restauración sin una cualificación específica, creando riesgos para el patrimonio y obstaculizando el ejercicio de la profesión.

Evolución legislativa en Portugal (2009-2024)

Portugal experimentó un período anterior de indefinición regulatoria más breve que España, seguido de un cambio legislativo extraordinario en 2024. El Decreto-Lei n.º 140/2009 [9], dictado para desarrollar la Lei n.º 107/2001, de 8 de setembro (*Lei de Bases do Património Cultural*), estableció un régimen jurídico para intervenciones en bienes muebles y muebles integrados, exigiendo que tales intervenciones fueran realizadas por "técnicos con cualificación legalmente reconocida" (Art.1). Sin embargo, el decreto no definió específicamente cuáles eran esos perfiles de cualificación. Esta redacción vaga permitió interpretaciones laxas. Este período de indefinición portugués duró 15 años (2009-2024), lo que lo hace significativamente más breve que la experiencia española, pero a la vez comparable en su carácter fundamental de ausencia de regulación clara.

El cambio legislativo de 2024 mediante el Decreto-Lei n.º 90/2024 [3], vigente desde el 23 de noviembre de 2024, representa una transformación regulatoria integral sin precedentes en Europa. Este decreto modifica comprehensivamente el Decreto-Lei n.º 140/2009 [9] e introduce cambios revolucionarios en múltiples dimensiones simultáneamente.

En primer lugar, define explícitamente las vías formativas que habilitan para el ejercicio de la profesión (artículo 18, 2). Estas vías comprenden: licenciatura más máster post-Bolonia en CR; licenciatura pre-Bolonia en CR; *bacharelato* en CR (para ingreso antes de 1997); y las cualificaciones extranjeras reconocidas conforme al Decreto-Lei 66/2018 [10]. Esta enumeración exhaustiva cierra la posibilidad de interpretaciones alternativas.

En segundo lugar, establece un requisito verificable de experiencia profesional (artículos 18 y 22). para la redacción de informes previos y la dirección de las intervenciones. Además, requiere que la experiencia previa corresponda al ámbito/ tipología de bien a intervenir. Este requisito es verificable documentalmente mediante *curriculum vitae*, referencias laborales verificables, cartera de proyectos completados, etc.

En tercer lugar, introduce protección legal del título profesional. Solo los profesionales que cumplan los requisitos pueden ostentar y ejercer el título de "conservador-restaurador". Se establece asimismo un sistema explícito de penalizaciones (artículo 28).

En cuarto lugar, garantiza supervisión técnica con interdisciplinariedad (artículos 22 y 15-a). Reconoce que otros profesionales (arqueólogos, historiadores del arte, arquitectos) pueden

colaborar en intervenciones, pero bajo "supervisión y coordinación directa" del conservador-restaurador cualificado, quien retiene la autoridad técnica sobre las decisiones de restauración.

En quinto lugar, extiende la regulación a los bienes inmuebles (artículo 15-a). En sexto lugar, implementa procedimientos administrativos ágiles. Los plazos de autorización administrativa se establecen en 20 días (prorrogables una sola vez por igual período) y, están completamente informatizados mediante plataformas electrónicas.

En séptimo lugar, incluye una disposición transitoria para la función de coordinación (artículo 4). Durante tres años, se reconocerá a profesionales con un mínimo de diez años de experiencia demostrables en el sector, incluso sin la titulación formalmente requerida, proporcionando una vía de regularización para profesionales consolidados sin títulos formales.

Finalmente, se alinea explícitamente el nivel formativo con los estándares europeos: EQF 7 / MECES 3, basado en 180 ECTS de licenciatura más 120 ECTS de máster (cinco años totales equivalentes a máster europeo).

Portugal ha logrado, tras 15 años de indefinición, un salto legislativo extraordinario que integra de manera simultánea formación, regulación profesional y protección patrimonial. Esta reforma de 2024 sitúa a Portugal como una referencia legislativa extrapolable al escenario español.

Comparación estructural integrada España-Portugal 2024

La comparación estructural entre los marcos regulatorios español y portugués de 2024 revela contrastes significativos que ilustran el proceso de divergencia legislativa que marca el contexto ibérico contemporáneo. En materia de duración de formación mínima requerida, España establece una formación mínima de cuatro años (grado 240 ECTS, [5]), mientras que Portugal requiere de cinco años (licenciatura más máster, [3]). En cuanto al requisito de máster para ejercicio profesional, España no lo obliga para acceso general, permitiendo que egresados de grado de cuatro años ejerzan profesionalmente sin máster adicional; Portugal por su parte requiere implícitamente de un máster (300 ECTS totales, [3]) como requisito para la vía de acceso profesional post - Bolonia como condición para la elaboración de informes previos, intervención y coordinación en patrimonio clasificado.

Respecto a los requisitos de experiencia profesional, España no especifica unos requisitos de experiencia post-titulación [5], mientras que Portugal requiere explícitamente de cinco años de experiencia post-titulación verificable en una especialidad para la elaboración de informes previos relativos a obras o intervenciones (art. 18, apartado 1) y a efectos de dirección y coordinación de obras (art. 22, 1) [3]. En relación con la protección del título profesional, España no ofrece protección legal del título [5], permitiendo que cualquiera con formación afín utilice la denominación "restaurador"; Portugal por su parte protege legalmente el título desde noviembre 2024 [3], sancionando por tanto el intrusismo.

En cuanto a la definición de competencias exclusivas, España no define legalmente qué puede hacer exclusivamente un conservador-restaurador [5]; mientras que Portugal define sus competencias en materia de "estudios, proyectos, obras o intervenciones en bienes culturales clasificados o en vías de clasificación" en los artículos 18, 22 y 15-a [3]. Respecto a la autorización administrativa para las intervenciones, España muestra una gran variabilidad según cada comunidad autónoma, puesto que carece de un marco nacional [1]; Portugal establece un procedimiento uniforme nacional de 20 días [3].

En relación con la cobertura patrimonial, en ambos casos atañe al patrimonio clasificado. Respecto a la supervisión de otros profesionales, España no regula cómo los otros profesionales participan en las intervenciones [5]; Portugal exige la supervisión explícita del conservador-restaurador sobre profesionales afines como arqueólogos, historiadores y arquitectos [3].

Respecto a las sanciones por intrusismo, España no especifica sanciones [5]; mientras que Portugal establece una escala que va desde los 500 a los 25.000€ [3].

Esta comparación estructural revela que mientras España avanzó académicamente [5], Portugal simultáneamente avanzó académica y profesionalmente [3], creando una divergencia donde ambos países requieren de alineación. Paradójicamente, si bien España aparece

legislativamente más "equiparada académicamente", Portugal está "profesionalmente más regulada", situación que genera a efectos prácticos obstáculos para la movilidad de estudiantes y profesionales.

Análisis de transferibilidad del modelo portugués de 2024 a España

A la pregunta central de si el modelo regulatorio portugués de 2024 resulta más transferible a España que los modelos italiano o francés consolidados, la respuesta es en general positiva [3] y, está sustentada en cuatro razones fundamentales que trascienden las consideraciones puramente técnicas para profundizar en cuestiones de compatibilidad política, administrativa y de contexto compartido.

La primera razón reside en la similitud de trayectoria legislativa y experiencia institucional. España ha experimentado 40 años de indefinición regulatoria (1985-2024, [1]), mientras que Portugal experimentó 15 años de indefinición (2009-2024 [3, 8]). Italia implementó su regulación desde 2004 (20 años de antigüedad institucional [4]), al igual que Francia, también desde 2004 (20 años [7]). Portugal comparte con España la experiencia reciente de una lucha por el reconocimiento profesional, donde las asociaciones profesionales llevaron a cabo acciones por la defensa del patrimonio y la profesión durante décadas antes de lograr cambios legislativos efectivos. La Asociación de Restauradores Portugueses (ARP) persiguió la implementación de reformas durante aproximadamente 30 años antes de conseguir la aprobación del Decreto-Lei 90/2024 (2024). La Asociación de Conservadores-Restauradores de España (ACRE) ha seguido una trayectoria similar de promoción de la defensa del patrimonio a largo plazo [2]. La similitud en la trayectoria entre ambos países en cuanto a indefinición y posterior asociacionismo podría facilitar la transferencia de marcos regulatorios.

La segunda razón estriba en la compatibilidad con sistemas de descentralización administrativa. El modelo portugués, aunque más centralizado que España, resulta adaptable a su estructura descentralizada mediante un protocolo marco nacional que establezca los criterios uniformes que cada comunidad autónoma implementaría dentro de sus competencias transferidas, como regula el Art. 150 de la CE [20]. El modelo italiano, por el contrario, requeriría de una negociación mucho más compleja con múltiples niveles administrativos actuando simultáneamente [4]. El modelo francés, por su parte, requiere de centralización administrativa que contradice la estructura descentralizada española [7] dividida en 17 comunidades con competencias transferidas en materia de patrimonio.

La tercera razón se sustenta en la modernidad legislativa y la capacidad de aprendizaje en tiempo real. El Decreto-Lei 90/2024 portugués entró en vigor en noviembre 2024 [3], hace relativamente poco tiempo, mientras que la Ley 1/2024 española se aprobó en junio 2024 [5]. Por otro lado, Italia y Francia aprobaron sus marcos en 2004 [4, 7], hace 20 años. La juventud del modelo portugués proporciona nuevas oportunidades para que España observe la implementación portuguesa en tiempo real durante los próximos años, identificando así soluciones a los diversos desafíos prácticos antes de implementar unas reformas comparables [3]. Los modelos italiano y francés, tras 20 años de operación, ofrecen una experiencia consolidada, pero con resultados menos adaptativos a contextos nuevos [4, 7]. Portugal ofrece un modelo contemporáneo con lecciones de implementación en construcción [3].

La cuarta razón reside en la regulación en la intervención de bienes inmuebles siguiendo el modelo italiano (Art. 29, comma 6 del Codice dei beni culturali e del paesaggio), aunque sin especificar el ámbito de competencia a los elementos decorativos inseparables de los bienes inmuebles (Artigo 15.º-A). Dado que España posee un patrimonio inmueble cultural extraordinariamente extenso la adopción del modelo portugués que regula las intervenciones de CR en bienes inmuebles (artículo 15-a [3]) permitiría a España abordar de manera integral la regulación profesional en ese ámbito, que actualmente está bajo la supervisión de arquitectos conforme a la legislación de edificación [21].

Discusión implicaciones y recomendaciones para política

La paradoja ibérica 2024 y sus implicaciones para profesión

El análisis comparativo revela una paradoja fundamental que define el momento regulatorio ibérico actual. Mientras que la Ley 1/2024 española [5] ha resuelto definitivamente la cuestión de equiparación académica permitiendo que los títulos de Escuela Superior de Conservación-Restauración sean formalmente equivalentes a los grados universitarios, posibilitando el acceso de sus egresados a la formación de máster y doctorado, esta reforma ha ocurrido simultáneamente a una indefinición profesional que no solo persiste sino que se ha visto complicada por la introducción de la regulación portuguesa que ahora crea incompatibilidad donde antes existía compatibilidad de facto al no requerir cinco años de formación para el ejercicio de la profesión.

Paradójicamente, los profesionales españoles, a pesar de poseer formación académicamente mejor equipada que hace años, encuentran actualmente una mayor dificultad de movilidad que previamente, precisamente porque la formación portuguesa ahora regulada ha establecido requisitos más exigentes (máster obligatorio, experiencia verificable, protección de título, 3) que transforman la formación española de cuatro años en una formación insuficiente [5]. Esta desarticulación crea una situación donde España reguló el "qué se enseña" mediante Ley 1/2024 [5], mientras que Portugal reguló el "quién puede ejercer" mediante Decreto-Lei 90/2024 [3].

Implicaciones para política educativa y regulatoria española

A partir del análisis comparativo, emergen implicaciones claras para la política educativa y regulatoria española que trascienden meramente las reformas cosméticas o incrementales. España requiere de manera urgente la implementación de tres reformas simultáneas e integradas que funcionen de manera complementaria.

La primera reforma necesaria es la adopción de una regulación profesional específica mediante una legislación dedicada. La Ley 1/2024 [5], aunque importante para la equiparación académica, resulta insuficiente. Se requiere de un proyecto de ley específico de regulación de la profesión (previo test de proporcionalidad) de conservador-restaurador, que podría ser estructurado como Real Decreto, conforme a sus competencias administrativas, que establezca explícitamente las titulaciones habilitantes, defina las competencias exclusivas derivadas de la formación, establezca los requisitos de experiencia profesional verificable (comparable a los cinco años portugueses [3]), proteja el título profesional de "conservador-restaurador" de manera legal, establezca sanciones por el ejercicio no cualificado, y cree procedimientos administrativos efectivos para la autorización de intervenciones en patrimonio protegido. Este marco debería explícitamente reconocer competencias exclusivas del conservador-restaurador en intervenciones de conservación, diferenciándolas de intervenciones de arquitectura o arqueología.

La segunda reforma necesaria es la articulación clara entre niveles de grado y máster para acceso profesional. Conforme a directrices E.C.C.O. que especifican nivel máster (EQF 7 [13]) como mínimo, España debe establecer requisito de máster con 60 o 120 ECTS adicionales como base para el acceso profesional, conforme a regulación profesional que se implemente. Esto requeriría elevar los actuales 240 ECTS de grado a un mínimo de 300-360 ECTS (grado 240 ECTS + máster 60-120 ECTS [5]) para ser competitivo con los estándares europeos. Esta reforma podría implementarse mediante el diseño de másteres en conservación-restauración especializados que egresados de grado de conservación-restauración deban completar para adquirir una especialidad reglada, similarmente a como operan los sistemas italiano [4] y portugués [3]. Además, se recomienda el establecimiento de un protocolo nacional de prácticas que establezca unos estándares mínimos para formación práctica con obra original con un mínimo de horas certificadas.

La tercera reforma necesaria es la inclusión de una disposición transitoria que regularice a los profesionales con una experiencia significativa sin titulación formal y, que reconozca la

experiencia de aquellos profesionales con una amplia trayectoria laboral, que poseen una titulación pero que no tienen un máster. Conforme al modelo portugués (Decreto-Lei 90/2024 artículo 4), España debería establecer un período de transición (cinco-siete años) durante el cual profesionales con una experiencia verificable de más de diez años que carezcan de una titulación formal o de un máster podrían ser reconocidos como conservadores-restauradores cualificados, regularizando la situación de decenas de profesionales consolidados sin títulos formales y sin máster en CR que han trabajado de manera efectiva en campo.

Conclusiones

Este análisis comparativo de marcos legislativos España-Portugal 2024 en conservación-restauración ha identificado una paradoja fundamental que define el contexto regulatorio ibérico contemporáneo: simultáneamente a la aprobación de la Ley 1/2024 española [5] que equipara académicamente formaciones en CR, Portugal aprobó el Decreto-Lei 90/2024 [3] que introduce regulación profesional integral, evidenciando una desarticulación crítica entre la reforma formativa en España y la regulación profesional que Portugal ha avanzado de manera paralela.

Del análisis emergen tres hallazgos principales de gran relevancia para el campo de la conservación-restauración en contexto europeo. El primer hallazgo identifica una divergencia legislativa ibérica con consecuencias inversas a lo que podrían esperarse. Mientras que España legislativamente avanzó en equiparación académica [5] sin regulación profesional, Portugal avanzó simultáneamente en equiparación académica y regulación profesional integral [3]. La paradoja resultante es que profesionales españoles, a pesar de poseer formación académicamente mejor equiparada que hace años, encuentran dificultad de movilidad aumentada en el territorio portugués porque la formación portuguesa ahora regulada ha establecido requisitos más rigurosos que la formación española de cuatro años de grado no satisface.

El segundo hallazgo establece que el modelo regulatorio portugués de 2024 [3] es significativamente más innovador y transferible al contexto español que los modelos consolidados italiano [4] o francés [7]. Esta transferibilidad superior resulta de cinco factores: similitud de trayectoria legislativa (ambos países experimentaron indefinición regulatoria por períodos prolongados antes de reformas); compatibilidad con descentralización administrativa (Portugal establece marcos que pueden adaptarse a 17 comunidades autónomas españolas mejor que sistemas más complejos); modernidad legislativa (el Decreto-Lei 90/2024 de noviembre 2024 permite un aprendizaje en tiempo real frente a los marcos de hace 20 años); innovación sin precedentes en regulación de bienes inmuebles y; agilidad administrativa (procedimientos de 20 días frente a dos-tres meses en Italia).

El tercer hallazgo pone de manifiesto que en España, si bien la reforma de formación ha sido abarcada mediante la Ley 1/2024, las reformas para la regulación profesional y la legislación patrimonial, están aún pendientes. España ha avanzado en una tercera parte (formación), Italia y Francia completaron las tres desde 2004 [4, 7] y, Portugal en 2024 completó las tres vertientes en una reforma integral [3]. La ausencia de dos de las tres reformas explica por qué los avances académicos españoles no se han traducido en mejora de movilidad o protección patrimonial.

REFERENCIAS

1. 'Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español', *Boletín Oficial del Estado* **155** (1985) 20342-20352, <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1985-12534> (acceso en 2025-07-16).
2. Galán-Pérez, A. M.; Pardo San Gil, D., *Las profesiones del patrimonio cultural: competencias, formación y transferencia del conocimiento: reflexiones y retos en el año europeo del patrimonio cultural 2018*, Grupo Español de Conservación del International Institute for Conservation, Albacete (2018).
3. 'Decreto-Lei 90/2024 de 22 de novembro', *Diário da República série I*(227) (2024) 6-22, <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/90-2024-897548401> (acceso en 2025-09-09).

4. 'Decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42: Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137', *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana* **45** (2004), <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2004-01-22;42> (acceso en 2025-09-07).
5. 'Ley 1/2024, de 7 de junio, por la que se regulan las enseñanzas artísticas superiores y se establece la organización y equivalencias de las enseñanzas artísticas profesionales', *Boletín Oficial del Estado* **139** (2024), <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2024-11613> (acceso en 2024-08-20).
6. Freidson, E., *Professionalism, the third logic: on the practice of knowledge*, University of Chicago press, Chicago (2001).
7. 'Code du Patrimoine', in *Légifrance* (2025), <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGISCTA000024241687> (acceso en 2025-09-27).
8. 'Cultural Heritage Act', in *Cultural Heritage*, cap. 445. (2024), <https://legislation.mt/eli/cap/445/eng/pdf> (acceso en 2026-03-12).
9. 'Decreto-Lei 140/2009 de 15 de junho de 2009: Estabelece o regime jurídico dos estudos, projectos, relatórios, obras ou intervenções sobre bens culturais classificados, ou em vias de classificação, de interesse nacional, de interesse público ou de interesse municipal', *Diário da República Série I*(113) (2009) 3653-3659, <http://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/140-2009-494543> (acceso en 2025-09-14).
10. 'Decreto-Lei 66/2018 de 16 de agosto de 2018: Aprova o regime jurídico de reconhecimento de graus académicos e diplomas de ensino superior atribuídos por instituições de ensino superior estrangeiras', *Diário da República Série I*(157) (2018) 4182-4188, <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/66-2018-116068880> (acceso en 2025-09-19).
11. E.C.CO. / ENCoRE, *On practice in conservation-restoration education*, ENCoRE, Denmark (2014), <https://encore-edu.org/wp-content/uploads/2022/08/PracticePaper2014.pdf> (acceso en 2024-03-29).
12. E.C.C.O., *Directrices profesionales de E.C.C.O.: la profesión y su código ético*, E. C.C.O., Bruxelles (2002), https://www.ecco-eu.org/wp-content/uploads/2021/03/ECCO_professional_guidelines_I.pdf (acceso en 2024-03-29).
13. E.C.C.O., *Competences for access to the conservation-restoration profession*, E.C.C.O., Bruxelles (2011), https://www.ecco-eu.org/wp-content/uploads/2021/01/ECCO_Competences_EN.pdf (acceso en 2024-03-29).
14. 'Decreto 26 maggio 2009, n. 87. Regolamento concernente la definizione dei criteri e livelli di qualità cui si adegua l'insegnamento del restauro...', *Gazzetta Ufficiale* **161**, art. 1 (2009).
15. Institut national du patrimoine, *Formation initiale - Livret pédagogique. Département des restaurateurs*, INP, Aubervilliers (2025-2026), https://www.inp.fr/sites/default/files/media/2025-10/plaquette_fi_restaurateur_livret_pedagogique_24-25.pdf (acceso en 2026-03-21).
16. Trigo Peinado, M., *La formación del conservador-restaurador de bienes culturales en la Europa del Mediterráneo occidental*, Tesis doctoral, Departamento de Educación, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid (2026).
17. 'Ley Orgánica 1/1990, de 3 de octubre, de Ordenación General del Sistema Educativo (LOGSE)', *Boletín Oficial del Estado* **238** (1990) 28927-28942, <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1990-24172> (acceso en 2025-09-21).
18. 'Real Decreto 1387/1991, de 18 de septiembre, por el que aprueban las enseñanzas mínimas del currículo de conservación y restauración de bienes culturales y se regula la prueba de acceso a estos estudios', *Boletín Oficial del Estado* **234** (1991) 31777-31779, <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1991-24113> (acceso en 2025-09-21).
19. 'Real Decreto 635/2010, de 14 de mayo, por el que se regula el contenido básico de las enseñanzas artísticas superiores de Grado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales establecidas en la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación', *Boletín Oficial del Estado* **137** (2010), <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2010-8959> (acceso en 2025-09-21).
20. 'Constitución Española', *Boletín Oficial del Estado* **311** (1978), <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1978-31229> (acceso en 2025-09-05).
21. 'Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación', *Boletín Oficial del Estado* **266** (1999), <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1999-21567> (acceso en 2025-09-13).

RECIBIDO: 2025.11.2

REVISTO: 2026.4.6

ACEPTADO: 2026.4.24

ONLINE: 2026.6.3



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
AtribuciónNoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.
Para ver una copia de esta licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Linternauta y la normalización de la catalogación técnica de placas de linterna mágica en Portugal

Linternauta e a normalização da catalogação técnica das placas de lanterna mágica em Portugal

Linternauta and the standardisation of the technical cataloguing of magic lantern slides in Portugal

Resumen

Este artículo analiza la actualización de la plataforma digital Linternauta mediante la catalogación técnica de 427 placas de linterna mágica conservadas en tres instituciones públicas portuguesas. El estudio aborda la inestabilidad terminológica existente en la descripción de sus técnicas de producción y propone un modelo operativo de normalización basado en cuatro categorías: pictórica, impresa, fotográfica y mixta. La clasificación se fundamenta en observación macroscópica, fuentes históricas y estudios materiales recientes. Los resultados muestran un predominio significativo de configuraciones técnicas híbridas, coherente con investigaciones previas sobre colecciones portuguesas. La normalización terminológica facilita la comparación interinstitucional, favorece el acceso digital estructurado y contribuye indirectamente a estrategias de conservación preventiva mediante la reducción potencial de la manipulación directa de materiales frágiles. El caso portugués evidencia el potencial metodológico de la catalogación técnica para la documentación patrimonial y las humanidades digitales.

Resumo

Este artigo analisa a atualização da plataforma digital Linternauta através da catalogação técnica de 427 placas de lanterna mágica preservadas em três instituições públicas portuguesas. O estudo aborda a instabilidade terminológica existente na descrição das técnicas de produção destas peças e propõe um modelo operativo de normalização baseado em quatro categorias: pictórica, impressa, fotográfica e mista. A classificação fundamenta-se na observação macroscópica, em fontes históricas e em estudos materiais recentes. Os resultados revelam um predomínio significativo de configurações técnicas híbridas no conjunto analisado, em consonância com investigações anteriores sobre coleções portuguesas. A normalização terminológica facilita a comparação interinstitucional, favorece o acesso digital estruturado e contribui indiretamente para estratégias de conservação preventiva ao reduzir potencialmente a manipulação direta de materiais frágeis. O caso português evidencia o potencial metodológico da catalogação técnica para a documentação patrimonial e as humanidades digitais.

Abstract

This article analyses the update of the Linternauta digital platform through the technical cataloguing of 427 magic lantern slides preserved in three Portuguese public institutions. The study addresses the terminological instability surrounding the description of production techniques and proposes an operational classification model based on four categories: pictorial, printed, photographic and mixed. The classification combines macroscopic observation, historical sources and recent material studies. Results reveal a significant predominance of hybrid technical configurations within the analysed corpus, consistent with previous research on Portuguese collections. The proposed terminology facilitates interinstitutional comparison, supports structured digital access and indirectly contributes to preventive conservation strategies by potentially reducing the handling of fragile materials. The Portuguese case highlights the methodological value of technical cataloguing for heritage documentation and digital humanities.

FRANCISCO JAVIER
FRUTOS ESTEBAN *
CARMEN LÓPEZ SAN
SEGUNDO 

Universidad de Salamanca, Facultad
de Ciencias Sociales, Campus
Miguel de Unamuno, 37007
Salamanca, España

*frutos@usal.es

PALABRAS-CLAVE

Linterna mágica
Catalogación técnica
Normalización terminológica
Patrimonio audiovisual
Documentación patrimonial
Humanidades digitales

PALAVRAS-CHAVE

Lanterna mágica
Catalogação técnica
Normalização terminológica
Património audiovisual
Documentação patrimonial
Humanidades digitais

KEYWORDS

Magic lantern
Technical cataloguing
Terminology standardisation
Audiovisual heritage
Heritage documentation
Digital humanities

Introducción: tras la estela de la linterna mágica

La documentación técnica de las placas de linterna mágica constituye actualmente un desafío metodológico para la gestión y el estudio del patrimonio, derivado de la inestabilidad terminológica empleada históricamente para describir sus procesos de producción. La coexistencia histórica de denominaciones técnicas y comerciales, junto con la diversidad de prácticas catalográficas entre instituciones patrimoniales, dificulta la comparación interinstitucional, la interoperabilidad de datos y la aplicación coherente de estrategias de conservación preventiva. En este contexto, la normalización de la catalogación técnica emerge como una herramienta relevante para articular investigación histórica, gestión patrimonial y acceso digital.

La linterna mágica constituye, al mismo tiempo, un objeto fundamental para la arqueología de los medios y para la historia de la imagen proyectada. Desde el siglo XVIII y a lo largo del XIX, este dispositivo articuló prácticas de entretenimiento, divulgación científica e instrucción pública que anticiparon formas posteriores de cultura audiovisual. Estudios clásicos y recientes han contribuido a interpretar las placas de linterna mágica como dispositivos visuales inscritos en sistemas culturales de circulación de imágenes, cuya persistencia y adaptación cuestionan lecturas evolutivas lineales centradas exclusivamente en el surgimiento del cinematógrafo [1-16].

Durante las últimas décadas, el interés académico por las placas de linterna mágica ha experimentado un notable crecimiento, impulsado tanto por estudios de historia cultural y visual como por investigaciones centradas en la materialidad de los dispositivos ópticos y sus prácticas de exhibición. En el ámbito europeo, proyectos colaborativos como *A Million Pictures* [17] han contribuido decisivamente a reconsiderar las placas de linterna mágica como artefactos patrimoniales complejos, promoviendo enfoques interdisciplinarios que integran historia cultural, estudios materiales y documentación digital. La plataforma Linternauta se inscribe en esta línea de investigación, constituyendo un desarrollo aplicado en el contexto portugués que prolonga metodologías iniciadas en *A Million Pictures* y actualmente ampliadas en el proyecto *MAGICA* [18]. Sin embargo, a pesar de este desarrollo historiográfico, la documentación técnica de estos objetos continúa presentando dificultades derivadas de la diversidad de terminologías empleadas en catálogos históricos, inventarios museográficos y bases de datos contemporáneas. Esta situación genera problemas de comparabilidad entre colecciones y limita el potencial analítico de los repositorios digitales dedicados a este patrimonio.

En el contexto portugués, las colecciones de placas de proyección conservadas en instituciones públicas constituyen un conjunto patrimonial relevante, aunque históricamente poco estudiado de forma sistemática. Diversas instituciones -archivos audiovisuales, museos científicos y colecciones universitarias- custodian fondos que reflejan la amplia circulación internacional de imágenes proyectadas durante los siglos XIX y comienzos del XX. No obstante, estas colecciones han sido descritas tradicionalmente mediante criterios heterogéneos, condicionados por la historia institucional de cada entidad y por la coexistencia de enfoques archivísticos, museológicos y audiovisuales.

Los estudios materiales recientes realizados sobre estas colecciones han permitido avanzar significativamente en el conocimiento de los procedimientos técnicos y de los materiales empleados en la producción de las placas, evidenciando la frecuente combinación de procesos pictóricos, impresos y fotográficos [16]. Estos trabajos ponen de manifiesto la complejidad técnica inherente a estos objetos y, al mismo tiempo, explican las dificultades para aplicar categorías descriptivas uniformes dentro de los sistemas de catalogación patrimonial. La necesidad de marcos terminológicos compartidos ha sido ampliamente reconocida en el ámbito de la conservación del patrimonio cultural, donde la estandarización conceptual constituye una condición necesaria para la documentación comparable y la gestión coordinada de colecciones [19]. En este sentido, la problemática observada en la catalogación de placas de

linterna mágica puede situarse dentro de debates más amplios sobre la normalización descriptiva del patrimonio material.

En continuidad con iniciativas internacionales dedicadas al estudio y documentación de las placas de linterna mágica, el proyecto *MAGICA* [18] ha impulsado recientemente el análisis interdisciplinar de estos materiales en el contexto portugués, integrando perspectivas procedentes de la conservación, la historia cultural y la arqueología de los medios. Concebida como un entorno de documentación, análisis y acceso abierto dedicado a las placas de linterna mágica conservadas en colecciones portuguesas, la actualización de *Linternauta* incorpora un corpus de 427 placas procedentes de tres instituciones públicas portuguesas: la Cinemateca Portuguesa–Museo del Cine, el Museo Nacional de Historia Natural y Ciencia y el Museo de Ciencia de la Universidad de Coimbra, y propone un sistema de catalogación técnica orientado a facilitar la comparación interinstitucional y el acceso estructurado al patrimonio.

El principal problema abordado por el estudio es la inestabilidad terminológica en la descripción de las técnicas de registro, resultado de la coexistencia histórica de denominaciones técnicas y comerciales, la diversidad de procesos productivos y la heterogeneidad de prácticas descriptivas entre instituciones. Frente a esta situación, el artículo propone un modelo operativo de normalización terminológica orientado a establecer un nivel común de clasificación técnica compatible con distintos grados de información disponible.

El objetivo no consiste en sustituir la complejidad material de las placas por categorías simplificadas, sino en desarrollar una herramienta metodológica que permita gestionar dicha complejidad dentro de entornos documentales digitales. La propuesta se concibe como un modelo provisional y ampliable, susceptible de ser refinado a medida que nuevas investigaciones materiales y documentales aporten información adicional.

El artículo se sitúa en la intersección entre arqueología de los medios, documentación patrimonial y conservación preventiva, mostrando cómo la catalogación técnica puede contribuir simultáneamente al conocimiento histórico, la gestión de colecciones y el acceso público al patrimonio audiovisual.

Corpus y metodología de catalogación técnica

El presente estudio aborda la catalogación técnica de placas de linterna mágica desde una perspectiva metodológica orientada a resolver la inestabilidad terminológica existente en su descripción documental. Esta inestabilidad deriva de la coexistencia histórica de denominaciones técnicas y comerciales, la diversidad de procesos productivos y la heterogeneidad de criterios catalográficos adoptados por distintas instituciones patrimoniales. Esta dificultad no es exclusiva del contexto portugués, sino que ya había sido señalada en propuestas tempranas de clasificación documental de placas de linterna mágica, donde se advertía la coexistencia de criterios técnicos, comerciales y funcionales en los sistemas de catalogación (Barnes, 1990). En consecuencia, el trabajo no se plantea únicamente como un ejercicio de inventario, sino como el desarrollo de un modelo operativo de normalización capaz de facilitar la comparación interinstitucional y la interoperabilidad de datos.

El corpus analizado está integrado por 427 placas de linterna mágica procedentes de tres instituciones públicas portuguesas: la Cinemateca Portuguesa–Museo del Cine (CPMC), el Museo Nacional de Historia Natural y Ciencia (MUHNAC) y el Museo de Ciencia de la Universidad de Coimbra (MCUC). La selección responde a criterios operativos definidos por la accesibilidad institucional, la disponibilidad para su digitalización y estudio, así como la diversidad tipológica y cronológica de los fondos conservados.

El corpus no constituye un inventario exhaustivo del conjunto de placas conservadas en Portugal, actualmente distribuidas en diversas instituciones, sino una muestra comparativa representativa sin pretensión de exhaustividad nacional desde el punto de vista tipológico e institucional. La inclusión de colecciones con perfiles distintos – archivo audiovisual, museo

científico y colección universitaria – permitió contrastar prácticas descriptivas diferenciadas y evaluar la aplicabilidad del modelo de normalización en contextos documentales diversos.

La incorporación de las placas al entorno digital Linternauta implicó la revisión y armonización de registros procedentes de inventarios previos, lo que permitió identificar divergencias terminológicas y vacíos descriptivos que confirmaron la necesidad de proponer un marco común de clasificación técnica.

La identificación técnica de las placas se llevó a cabo mediante un procedimiento comparativo basado en la combinación de observación directa, análisis documental y contraste con investigaciones materiales previas. Este enfoque respondió a la naturaleza heterogénea del corpus, caracterizado por la ausencia frecuente de documentación original asociada a los procesos de producción y por la variabilidad terminológica presente en los registros históricos.

En una primera fase, se realizó la observación macroscópica de las imágenes digitalizadas y de la información disponible en los inventarios institucionales, atendiendo a indicadores formales y materiales tales como la presencia de contornos impresos, intervenciones pictóricas manuales, características cromáticas, transparencias fotográficas o superposición de procedimientos técnicos. Este análisis permitió hipótesis iniciales de clasificación.

En una segunda fase, dichas observaciones fueron contrastadas con manuales técnicos y catálogos comerciales históricos empleados en la producción y distribución de placas de linterna mágica durante los siglos XIX y comienzos del XX. Estas fuentes permitieron contextualizar las denominaciones técnicas utilizadas en la época y comprender la coexistencia de terminologías comerciales y descriptivas que todavía persisten en los registros patrimoniales.

El procedimiento metodológico se desarrolló en diálogo con las líneas de investigación impulsadas por el proyecto *MAGICA* [18], que ha promovido el estudio interdisciplinar de las placas de linterna mágica desde perspectivas materiales, performativas y patrimoniales. Las investigaciones realizadas en este marco han contribuido a integrar el análisis técnico de los objetos con su contexto histórico de uso y circulación, favoreciendo la adopción de enfoques metodológicos que combinan documentación histórica, estudio material y herramientas digitales de análisis.

Finalmente, el proceso de identificación se apoyó en los resultados de estudios materiales recientes desarrollados sobre las colecciones portuguesas, especialmente la investigación doctoral de Santos [16], que documenta la frecuente combinación de procedimientos pictóricos, impresos y fotográficos en un mismo objeto. La integración de estos estudios permitió interpretar la hibridación técnica observada en el corpus y fundamentar las decisiones clasificatorias adoptadas.

Este procedimiento combinó, por tanto, evidencia visual, documentación histórica y conocimiento material especializado, permitiendo proponer una clasificación técnica coherente sin asumir atribuciones que excedieran el grado de información disponible.

Dado que la identificación técnica de las placas se basa principalmente en observación visual y documentación histórica disponible, el estudio incorporó un sistema explícito de niveles de atribución destinado a reflejar el grado de certeza asociado a cada clasificación. Este procedimiento permitió evitar atribuciones categóricas cuando la evidencia resultaba insuficiente y hacer explícitas las limitaciones inherentes al análisis.

Se establecieron tres niveles de certeza:

- Identificación confirmada, cuando existía evidencia directa que permitía sostener la atribución técnica, como marcas de productor, documentación asociada o coincidencias verificables con estudios materiales previos.
- Identificación probable, cuando la observación formal y la comparación con fuentes históricas mostraban coherencia suficiente con un procedimiento técnico determinado, aunque sin documentación directa que lo confirmara plenamente.

- Identificación hipotética, en aquellos casos en los que la clasificación se apoyaba principalmente en analogías formales o contextuales, manteniéndose abierta a futuras revisiones.

La adopción de este sistema permitió mantener la transparencia interpretativa del proceso catalográfico y responde a la naturaleza compleja de las placas de linterna mágica, cuya producción combinaba frecuentemente distintos procedimientos técnicos y cuya documentación histórica es, en muchos casos, fragmentaria. En este sentido, la clasificación propuesta no pretende establecer determinaciones definitivas, sino ofrecer un marco operativo transparente y revisable.

Entre las principales limitaciones del estudio debe señalarse la ausencia de análisis materiales directos sobre la totalidad del corpus, así como la desigual conservación de documentación histórica asociada a las colecciones. No obstante, la integración de investigaciones materiales recientes y el contraste sistemático con fuentes históricas permitieron reducir el margen de incertidumbre y fundamentar las decisiones catalográficas adoptadas.

La normalización propuesta no persigue sustituir la especificidad técnica de las placas por categorías genéricas, sino proponer un nivel común de clasificación operativa que permita la comparación interinstitucional en contextos donde la información técnica disponible resulta desigual o incompleta. La necesidad de este modelo surge de la heterogeneidad terminológica detectada en los registros documentales, caracterizados por el uso indistinto de denominaciones técnicas, comerciales y descriptivas para procedimientos equivalentes.

El análisis de los inventarios institucionales permitió identificar prácticas descriptivas divergentes, entre ellas la utilización simultánea de términos históricos y contemporáneos, la ausencia de diferenciación entre impresión y coloración manual, y la aplicación de categorías amplias sin referencia explícita a los procesos materiales implicados. Esta situación dificultaba la interoperabilidad entre bases de datos y limitaba la comparación sistemática entre colecciones. Esta problemática ha sido igualmente señalada en proyectos internacionales de documentación de placas de linterna mágica, como *Lucerna – The Magic Lantern Web Resource* [20], cuyo modelo de agregación evidenció la dificultad de integrar registros procedentes de instituciones con criterios descriptivos heterogéneos. El sistema propuesto en *Linternauta* se sitúa precisamente en esta fase previa, orientada a facilitar la convergencia terminológica antes de la agregación de datos.

Con el fin de gestionar esta heterogeneidad, se adoptó un modelo estructurado en cuatro macro-categorías técnicas – pictórica, impresa, fotográfica y mixta – concebidas como categorías de primer nivel. Estas categorías responden a diferencias materiales generales entre procedimientos de producción y permiten agrupar objetos con comportamientos de conservación comparables sin impedir futuras especificaciones técnicas más detalladas. La categoría mixta adquiere especial relevancia dentro del corpus analizado, al integrar placas que combinan distintos procedimientos -contornos impresos coloreados manualmente, intervenciones pictóricas sobre soportes fotográficos u otras superposiciones técnicas- cuya coexistencia ha sido ampliamente documentada en estudios materiales recientes [16]. En este sentido, la predominancia de esta categoría no responde únicamente a una decisión clasificatoria, sino a la naturaleza híbrida característica de estos objetos.

La estandarización terminológica propuesta permite reducir operativamente la heterogeneidad descriptiva a cuatro categorías funcionales, concebidas como herramienta operativa provisional y ampliable para la comparación interinstitucional. Su finalidad consiste en facilitar la organización documental y la comparación entre colecciones manteniendo explícito el grado de certeza disponible, permitiendo que futuras investigaciones materiales o documentales puedan refinar o desagregar las categorías empleadas sin alterar la estructura general del sistema. Desde la perspectiva de la conservación preventiva, esta normalización permite identificar conjuntos materiales con riesgos similares asociados a la combinación de soportes vítreos, capas pictóricas y componentes orgánicos, contribuyendo a orientar

estrategias de manipulación, almacenamiento y estudio dentro de las instituciones patrimoniales. Este enfoque adopta principios alineados con recomendaciones internacionales sobre terminología en conservación patrimonial, que proponen sistemas descriptivos capaces de mantener distintos niveles de especificidad sin comprometer la interoperabilidad documental [19].

Resultados del análisis técnico comparativo

La aplicación del modelo de normalización técnica al corpus de 427 placas permitió proponer una primera caracterización comparativa entre las tres colecciones analizadas. Los resultados muestran un claro predominio de la categoría mixta, que constituye la forma técnica mayoritaria en el conjunto estudiado. La ausencia de categorías pictóricas puras en la clasificación final no implica la inexistencia de intervención manual, sino que refleja la frecuente coexistencia de procedimientos pictóricos con técnicas impresas o fotográficas dentro de un mismo objeto.

En la colección de la CPMC, aproximadamente el 97 % de las placas fueron clasificadas como técnicas mixtas, mientras que una proporción minoritaria corresponde a técnicas impresas. En las colecciones del MUHNAC y del MCUC, la totalidad de los ejemplares analizados se integran dentro de la categoría mixta.

Esta distribución no debe interpretarse únicamente como resultado de una decisión clasificatoria, sino como reflejo de la naturaleza material híbrida documentada en investigaciones recientes sobre estas mismas colecciones. Los estudios materiales desarrollados por Santos [16] ponen de relieve la frecuente combinación de procedimientos pictóricos, impresos y fotográficos en un mismo objeto, característica que explica la predominancia observada en el presente análisis.

La adopción de una clasificación común permitió, por primera vez, comparar de forma sistemática colecciones con tradiciones descriptivas distintas, revelando patrones técnicos compartidos pese a las diferencias institucionales y funcionales de los fondos conservados. Las diferencias observadas entre colecciones podrían relacionarse con modelos de uso diferenciados, aunque esta interpretación debe considerarse provisional y dependiente de futuras evidencias documentales. La distribución cuantitativa resultante de la aplicación del modelo puede observarse en la Tabla 1, donde se sintetiza la presencia relativa de cada categoría técnica en las colecciones analizadas: como puede observarse, la predominancia de técnicas mixtas se mantiene constante en las tres instituciones analizadas.

El análisis comparativo del corpus permitió observar relaciones significativas entre los procedimientos técnicos identificados y la evolución histórica de los modelos de producción de placas de linterna mágica durante el siglo XIX y comienzos del XX. Aunque la normalización aplicada opera a un nivel clasificatorio general, la distribución resultante resulta coherente con la coexistencia progresiva entre prácticas artesanales y soluciones industriales híbridas.

Tabla 1. Distribución técnica del corpus por colección [16].

Institución	Numero de placas	Técnica (%)	
		Mixta	Impresa
CPMC	339	97	3
MUHNAC	30	100	0
MCUC	58	100	0
Total corpus	427	≈ 98	≈ 2

Las placas asociadas a cronologías más tempranas presentan con mayor frecuencia intervenciones pictóricas manuales o combinaciones artesanales de impresión y coloración. En fases posteriores se observa una creciente incorporación de procedimientos seriados vinculados a la reproducción impresa y a la fotografía. No obstante, estos procesos rara vez aparecen de forma aislada, sino integrados en soluciones técnicas mixtas destinadas a optimizar la legibilidad de la imagen proyectada. Un ejemplo de intervención pictórica manual observable dentro de este tipo de configuraciones técnicas puede apreciarse en la [Figura 1](#), que ilustra la presencia de procedimientos pictóricos integrados en placas clasificadas finalmente como técnicas mixtas.

La [Figura 2](#) ilustra otro tipo de combinación entre impresión seriada y coloración manual recurrente, donde la coexistencia de procedimientos técnicos explica la lógica híbrida predominante en las colecciones estudiadas.

La recurrencia de configuraciones técnicas similares en distintas instituciones puede apreciarse en la [Figura 3](#), correspondiente a un ejemplar del MUHNAC que permite identificar el patrón híbrido identificado en el conjunto del corpus.



Figura 1. Placa de linterna mágica perteneciente a la colección de la Cinemateca Portuguesa–Museo del Cine (inv. CPMC-PCo445/004). Aunque la presencia de coloración manual evidencia procedimientos pictóricos, la pieza se clasifica dentro de la categoría técnica mixta debido a la coexistencia de distintos procesos de producción, ilustrando la complejidad material que fundamenta el modelo de normalización propuesto.



Figura 2. Placa de linterna mágica procedente de la colección de la Cinemateca Portuguesa–Museo del Cine (*La Belle aux cheveux d'or*, Lapierre, ca. 1890, Francia, inv. CPMC-PCo018/002) con contornos impresos y coloración manual posterior. Aunque el diseño lineal deriva de un proceso de impresión seriada, la intervención pictórica y la combinación de procedimientos técnicos motivan su clasificación dentro de la categoría mixta, ejemplificando la transición hacia modelos productivos híbridos característica del corpus analizado.



Figura 3. Placa de linterna mágica perteneciente a la colección del Museo Nacional de Historia Natural y Ciencia (inv. MUHNAC-UL000068) que combina elementos impresos y pictóricos en un mismo soporte. La coexistencia de procedimientos técnicos observada en este ejemplar ratifica la recurrencia interinstitucional de configuraciones mixtas identificadas mediante la catalogación comparativa aplicada en Linternauta.

Las tres figuras anteriores coinciden con lo señalado por estudios materiales recientes, que describen las placas como objetos técnicamente estratificados, resultado de sucesivas fases de producción e intervención [16]. La superposición de técnicas puede interpretarse como una respuesta a las exigencias ópticas de la proyección luminosa, donde la intensidad cromática, el contraste y la visibilidad a distancia condicionaban las decisiones técnicas de los productores.

Desde esta perspectiva, la predominancia de soluciones híbridas o mixtas sugiere la coexistencia de lógicas artesanales e industriales más que una sustitución lineal entre modelos productivos. La clasificación comparativa permite así identificar tendencias generales sin establecer atribuciones cronológicas estrictas, reconociendo la variabilidad inherente a los contextos de producción y circulación internacional de estas imágenes.

La clasificación técnica aplicada permitió identificar la coexistencia, dentro de una misma colección institucional, de objetos con comportamientos materiales diferenciados derivados de la superposición de procesos productivos. La categoría mixta agrupa placas caracterizadas por la combinación de soportes vítreos, capas pictóricas, tintas impresas y, en algunos casos, emulsiones fotográficas, lo que implica vulnerabilidades específicas frente a factores ambientales y a la manipulación directa.

Desde la perspectiva de la conservación preventiva, la identificación de estas configuraciones técnicas facilita la agrupación de objetos con riesgos comparables, permitiendo orientar decisiones relativas a almacenamiento, manipulación y estudio. Las placas con intervenciones pictóricas presentan, por ejemplo, susceptibilidad a pérdidas de material cromático y abrasión superficial, mientras que aquellas que incorporan componentes fotográficos pueden mostrar procesos de degradación asociados a emulsiones sensibles a la humedad y a la luz.

Los estudios materiales desarrollados en el marco del proyecto MAGICA [18] y en investigaciones recientes sobre las colecciones portuguesas [16] subrayan la importancia de comprender la estratificación técnica de estos objetos para proponer medidas de conservación adecuadas. En este sentido, la normalización terminológica adoptada en Linternauta

contribuye a traducir el conocimiento material especializado a un nivel documental operativo, facilitando su aplicación dentro de los sistemas de gestión de colecciones.

Asimismo, la disponibilidad de registros técnicos normalizados dentro de un entorno digital de hibridación favorece el análisis preliminar remoto, reduciendo la necesidad de manipulación directa de piezas frágiles. Este acceso estructurado puede considerarse, por tanto, un apoyo indirecto a las estrategias de conservación preventiva, al permitir consultas comparativas sin exposición física reiterada de los objetos.

La incorporación del vocabulario técnico normalizado en la plataforma Linternauta permitió estructurar el acceso al corpus mediante criterios homogéneos de búsqueda y comparación. La organización de los registros según técnica, cronología, procedencia institucional y categorías temáticas facilita la exploración transversal de las colecciones, superando las limitaciones derivadas de inventarios previamente independientes y terminológicamente dispares.

Más allá de su función como repositorio digital, la plataforma actúa como un entorno de análisis documental que permite visualizar relaciones entre objetos pertenecientes a instituciones distintas, identificando patrones técnicos y narrativos que resultaban difíciles de detectar mediante consultas aisladas. Este acceso estructurado favorece aproximaciones comparativas que amplían las posibilidades de investigación histórica y material sobre las placas de linterna mágica. De esta manera, la incorporación del vocabulario técnico normalizado en Linternauta facilitó relaciones comparativas entre colecciones previamente descritas mediante criterios heterogéneos, poniendo de relieve patrones técnicos compartidos y facilitando su análisis conjunto dentro del entorno digital de Linternauta.

Discusión: implicaciones documentales y patrimoniales

Los resultados obtenidos trascienden la mera organización documental del corpus y permiten considerar el entorno digital como un espacio de mediación patrimonial que favorece nuevas formas de análisis comparativo y estudio remoto de materiales frágiles, situando la propuesta de normalización técnica dentro de un debate más amplio sobre la documentación del patrimonio audiovisual y científico. Máxime cuando la heterogeneidad terminológica identificada en las colecciones portuguesas no constituye un caso aislado, sino una problemática recurrente en la catalogación de objetos híbridos cuya producción histórica combina dimensiones artesanales, industriales y performativas.

En el ámbito de las placas de linterna mágica, la coexistencia de denominaciones técnicas, comerciales y descriptivas responde tanto a la evolución de los procesos productivos como a la diversidad de contextos institucionales en los que estos objetos han sido conservados. Archivos audiovisuales, museos científicos y colecciones universitarias han desarrollado históricamente sistemas de descripción orientados a necesidades distintas, generando vocabularios parcialmente incompatibles entre sí.

La normalización propuesta en este estudio no pretende resolver esta diversidad mediante una simplificación reductora, sino introducir un nivel intermedio de clasificación capaz de traducir terminologías heterogéneas a un marco documental común. En este sentido, el modelo se aproxima a estrategias adoptadas en otros ámbitos de la documentación patrimonial, donde la interoperabilidad se alcanza mediante estructuras jerárquicas que permiten coexistir distintos niveles de especificidad descriptiva. Iniciativas digitales como *Lucerna – The Magic Lantern Web Resource* [20] han demostrado el potencial de los repositorios agregados para ampliar el acceso a colecciones dispersas, aunque también han puesto de manifiesto la necesidad de marcos descriptivos compatibles. La experiencia desarrollada en Linternauta aborda esta cuestión mediante la normalización técnica previa de los registros, facilitando futuras integraciones en entornos documentales internacionales. Este planteamiento se alinea con metodologías desarrolladas en proyectos internacionales dedicados al estudio y documentación de placas de linterna mágica, particularmente *A Million*

Pictures [17], que puso de relieve la necesidad de integrar análisis material, contexto histórico de uso y acceso digital dentro de estrategias patrimoniales compartidas. Desde esta perspectiva, la catalogación técnica se entiende como un proceso de mediación entre conocimiento especializado y gestión documental, en el que la precisión terminológica debe equilibrarse con la necesidad de generar sistemas comparables y operativos dentro de entornos digitales compartidos.

La predominancia de técnicas clasificadas como mixtas en el corpus analizado invita a reconsiderar la naturaleza material de las placas de linterna mágica más allá de categorías técnicas estrictamente excluyentes. Lejos de constituir excepciones, las soluciones híbridas parecen representar una condición estructural de estos objetos, resultado de la superposición de procedimientos destinados a optimizar la eficacia visual de la proyección luminosa.

Los estudios materiales recientes han demostrado que la producción de placas implicaba con frecuencia la combinación de impresión industrial, intervención pictórica manual y, posteriormente, incorporación de procesos fotográficos, configurando objetos técnicamente estratificados [16]. Esta complejidad material explica la dificultad de aplicar clasificaciones basadas en técnicas puras y refuerza la pertinencia de modelos descriptivos capaces de integrar distintos niveles de información técnica.

Las investigaciones desarrolladas en el marco del proyecto *MAGICA* [18] han contribuido igualmente a situar estas prácticas dentro de un contexto performativo más amplio, en el que la eficacia visual, sonora y narrativa de la proyección condicionaba las decisiones técnicas adoptadas por productores y exhibidores. Desde esta perspectiva, la hibridación no debe entenderse únicamente como una cuestión material, sino como el resultado de la adaptación de los objetos a condiciones específicas de uso propias del carácter abierto y adaptable del medio linterna mágica [12].

La normalización terminológica propuesta permite, por tanto, traducir esta complejidad material a un nivel documental operativo sin eliminarla, ofreciendo una herramienta capaz de reflejar la naturaleza compuesta de las placas al tiempo que facilita su comparación dentro de sistemas de catalogación patrimonial. De este modo, la categoría mixta deja de ser una simplificación descriptiva para convertirse en un indicador analítico de la lógica técnica predominante en el corpus portugués.

La experiencia desarrollada a través de *Linternauta* pone de manifiesto el papel creciente de las plataformas digitales como herramientas de mediación entre investigación académica, gestión patrimonial y acceso público al conocimiento. En el caso de las placas de linterna mágica, cuya consulta directa implica riesgos derivados de la fragilidad del soporte vítreo y de la sensibilidad de sus capas materiales, la disponibilidad de registros técnicos estructurados adquiere una relevancia particular.

La normalización terminológica aplicada permite trasladar información material compleja a entornos documentales accesibles, favoreciendo el análisis comparativo sin necesidad de manipulación física reiterada de los objetos. Este tipo de acceso contribuye indirectamente a la conservación preventiva al reducir la exposición a factores de riesgo asociados al manejo, al transporte y a la iluminación prolongada durante procesos de estudio.

Al mismo tiempo, la integración de herramientas digitales dentro de proyectos patrimoniales amplía las posibilidades de investigación interdisciplinar, permitiendo relacionar datos técnicos, contextos históricos y usos culturales en un mismo entorno de consulta. Desde la perspectiva de las humanidades digitales, la catalogación técnica deja de ser únicamente un proceso descriptivo para convertirse en una infraestructura de conocimiento capaz de generar nuevas preguntas de investigación.

En este sentido, el caso portugués muestra cómo la articulación entre investigación material, normalización documental y acceso digital puede contribuir a redefinir el papel de la catalogación dentro de los estudios patrimoniales contemporáneos. Lejos de constituir una fase preliminar del trabajo científico, la documentación técnica puede entenderse como un espacio de producción de conocimiento que conecta conservación, historia cultural y análisis digital.

Conclusiones: horizontes traslúcidos para un legado vivo

El presente estudio ha permitido desarrollar y aplicar un modelo operativo de normalización terminológica orientado a la catalogación técnica de placas de linterna mágica en contextos patrimoniales caracterizados por la heterogeneidad descriptiva. La actualización de la plataforma Linternauta no se limita a la incorporación de nuevos registros digitales, sino que plantea una propuesta metodológica destinada a facilitar la comparación interinstitucional y la interoperabilidad documental entre colecciones con trayectorias catalográficas diversas. Linternauta contribuye a mejorar potencialmente las condiciones de acceso y estudio del patrimonio, favoreciendo indirectamente estrategias de conservación preventiva mediante la reducción potencial de la manipulación directa.

La aplicación del modelo a un corpus de 427 placas procedentes de tres instituciones públicas portuguesas ha puesto de manifiesto la utilidad de establecer niveles de clasificación compatibles con distintos grados de información disponible. La adopción de categorías técnicas operativas permitió gestionar la diversidad terminológica sin sustituir la complejidad material de los objetos, manteniendo explícitas las limitaciones derivadas de la evidencia documental y observacional.

Uno de los resultados más relevantes del estudio es la identificación del predominio de soluciones técnicas híbridas dentro del corpus analizado. Esta característica, coherente con investigaciones materiales recientes sobre las colecciones portuguesas [16], refuerza la necesidad de enfoques descriptivos capaces de integrar la estratificación técnica propia de las placas de linterna mágica y cuestiona la aplicación de clasificaciones basadas en técnicas puras.

Desde una perspectiva historiográfica, los resultados sugieren la coexistencia de modelos productivos artesanales e industriales a lo largo del siglo XIX, así como sugieren dinámicas de circulación internacional de repertorios visuales y soluciones técnicas adaptadas a las condiciones específicas de la proyección luminosa. La catalogación comparativa permite identificar patrones técnicos y visuales que trascienden el marco institucional específico de cada colección, sugiriendo dinámicas de producción y circulación más amplias dentro de la cultura visual europea del siglo XIX. Esta perspectiva resulta coherente con estudios recientes sobre la difusión transnacional de imágenes proyectadas y la movilidad de repertorios visuales asociados a la linterna mágica [11].

En el ámbito de la conservación, la normalización técnica sugiere su potencial como herramienta de gestión preventiva al facilitar la identificación de conjuntos materiales con riesgos comparables y favorecer el análisis remoto de objetos frágiles. De esta manera, la documentación técnica se configura como un elemento activo dentro de las estrategias de conservación patrimonial, más allá de su función tradicional como registro descriptivo. Asimismo, la integración del vocabulario normalizado en un entorno digital abierto amplía las posibilidades de investigación y mediación cultural, situando la catalogación como una infraestructura de conocimiento que conecta arqueología de los medios, gestión de colecciones y humanidades digitales. Finalmente, el modelo propuesto debe entenderse como una herramienta provisional y ampliable. Futuras investigaciones materiales y documentales permitirán refinar las atribuciones técnicas y enriquecer los niveles descriptivos, consolidando progresivamente estándares compartidos para la documentación de placas de linterna mágica en contextos patrimoniales internacionales.

Agradecimientos

Este estudio se desarrolló en el marco del proyecto MAGICA – Magic Lantern: Study, Safeguard, Uses and Reuse in 19th-Century Portugal (<https://www.magica-project.com/>), dedicado al estudio, documentación, preservación y reutilización patrimonial de placas de linterna mágica en Portugal. Los autores agradecen asimismo la colaboración de las instituciones portuguesas que facilitaron el acceso a las colecciones incorporadas a la plataforma Linternauta.

Declaración sobre la disponibilidad de los datos

Los conjuntos de datos generados durante el presente estudio están disponibles en el repositorio *Linternauta* <https://linternauta.usal.es/>.

REFERENCIAS

1. Barnes, J., 'Classification of magic lantern slides for cataloguing and documentation', in *Magic images: the art of hand-painted and photographic lantern slides*, eds. D. Crompton, D. Henry y S. Herbert, The Magic Lantern Society of Great Britain, London (1990) 75-84.
2. Mannoni, L., *Le grand art de la lumière et de l'ombre: archéologie du cinéma*, Nathan Université, Paris (1994).
3. Campagnoni, D. P., 'História da lanterna magalográfica vulgarmente dita lanterna mágica', in *A magia da imagem: a arqueologia do cinema através das coleções do Museu Nacional de Turim*, eds. P. Bertetto y D. P. Campagnoni, Centro Cultural de Belém, Lisboa (1996) 59-89.
4. Robinson, D.; Herbert, S.; Crangle, R. (eds.), *Encyclopaedia of the magic lantern*, Magic Lantern Society, London (2001).
5. Heard, M., 'Now you see it, now you don't: the magician and the magic lantern', in *Realms of light: uses and perceptions of the magic lantern from the 17th to the 21st century*, eds. R. Crangle, M. Heard y I. van Dooren, Magic Lantern Society, London (2005) 13-24.
6. Heard, M., 'The lantern is not dead: lantern and slides in the 20th century and beyond', in *Realms of light: uses and perceptions of the magic lantern from the 17th to the 21st century*, eds. R. Crangle, M. Heard y I. van Dooren, Magic Lantern Society, London (2005) 193-194.
7. Crangle, R., *Realms of light: uses and perceptions of the magic lantern from the 17th to the 21st century*, Magic Lantern Society, London (2009).
8. Frutos, F. J., *Los ecos de una lámpara maravillosa: la linterna mágica en su contexto mediático*, Ediciones Universidad de Salamanca, Salamanca (2010).
9. Frutos, F. J., 'From luminous pictures to transparent photographs: the evolution of techniques for making magic lantern slides', *The Magic Lantern Gazette* 25(3) (2013) 3-11.
10. Huhtamo, E., *Illusions in motion: media archaeology of the moving panorama and related spectacles*, MIT Press, Cambridge (2013).
11. Dellmann, S., 'Beyond and with the object: assessing the dissemination range of lantern slides and their imagery', *Early Popular Visual Culture* 14(4) (2016) 340-358, <https://doi.org/10.1080/17460654.2016.1222927>.
12. Kember, J., 'The magic lantern: open medium', *Early Popular Visual Culture* 17(1) (2019) 1-8, <https://doi.org/10.1080/17460654.2019.1640605>.
13. López San Segundo, C.; Frutos, F. J.; Therón, R., 'Linternauta: a web application for the interpretation of magic lantern slides according to discursive genre', *Early Popular Visual Culture* 17(3-4) (2019) 361-385, <https://doi.org/10.1080/17460654.2019.1705650>.
14. Santos, Â.; Rodrigues, B.; Otero, V.; Vilarigues, M., 'Defining the first preventive conservation guidelines for hand-painted magic lantern glass slides', *Conservar Património* 37 (2021) 100-115, <https://doi.org/10.14568/cp2020033>.
15. Santos, Â.; Otero, V.; Vilarigues, M., 'Production of hand-painted magic lantern glass slides: a literature review', *Studies in Conservation* 68 (2023) 137-151, <https://doi.org/10.1080/00393630.2023.2194080>.
16. Santos, Â., *Lanterna Mágica – Technology and preservation of painted glass slides for projection with magic lanterns*, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa (2024), <http://hdl.handle.net/10362/171450> (acesso en 2026-05-09).
17. 'A million pictures: magic lantern slide heritage as artefacts in the common European history of learning', *A Million Pictures Project*, Utrecht University (2018), <https://a-million-pictures.wp.hum.uu.nl> (acesso en 2026-05-09).
18. MAGICA Project, *MAGICA – Magic Lantern: Study, Safeguard, Uses and Reuse in 19th-Century Portugal* (2025), <https://www.magica-project.com/> (acesso en 2026-05-09).
19. ICOM-CC, *Terminology to characterize the conservation of tangible cultural heritage*, International Council of Museums – Committee for Conservation (2008), <https://www.icom-cc.org> (acesso en 2026-05-09).
20. Lucerna – The Magic Lantern Web Resource (2016), <http://lucerna.exeter.ac.uk> (acesso en 2026-05-09).

RECIBIDO: 2025.9.8

REVISTO: 2026.2.27

ACEPTADO: 2026.4.29

ONLINE: 2026.6.8



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
AtribuciónNoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.
Para ver una copia de esta licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Uso de quelantes em hidrogel para remoção de manchas em uma pintura em têxtil com técnica mista de estampa com ferrugem e aquarela

Use of chelating agents in hydrogel for stain removal on a textile painting with a mixed technique of rust print and watercolor

ANA VITÓRIA AGUIAR
MONTEIRO
JOÃO CURA D'ARS DE
FIGUEIREDO JUNIOR* 
AMANDA CRISTINA
ALVES CORDEIRO 

Departamento de Artes Plásticas,
Escola de Belas Artes, Universidade
Federal de Minas Gerais, Avenida
Antônio Carlos, 6627, Pampulha,
Belo Horizonte - MG, Brasil

*joaac@ufmg.br

Resumo

A pintura em têxtil apresenta características que a distingue da pintura em tela e que também define uma metodologia diferenciada de Conservação e Restauro. Neste artigo, discutimos a remoção de manchas de ferrugem em uma pintura em têxtil de algodão realizada com estampa com ferrugem e aquarela. A ferrugem usada para a realização da obra migrou sobre o tecido gerando manchas que se associaram a adesivo e a manchas de fungos, descaracterizando a obra e dificultando sua leitura. A remoção das manchas de ferrugem foi realizada com agentes quelantes, citrato e oxalato em pH controlado, aplicados em gel de goma xantana para controlar a migração do solvente no tecido. Os dois quelantes apresentaram eficiência na limpeza e possibilitaram o controle do processo de modo a atender os critérios de intervenção de uma pintura em têxtil.

Abstract

Textile painting has characteristics that distinguish it from painting on canvas, and these differences also require a distinct conservation methodology. In this article, we discuss the removal of rust stains from a cotton textile painting created using rust printing and watercolor. The rust used in the artwork migrated across the fabric, generating stains that combined with adhesive and mold residues, altering the appearance of the work and making it more difficult to interpret. The rust stains were removed using chelating agents – citrate and oxalate – at controlled pH levels, applied in a xanthan gum gel to limit solvent migration within the fabric. Both chelating agents proved effective in cleaning and enabled a controlled treatment that meets conservation criteria for textile paintings.

PALAVRAS-CHAVE

Pintura em tecido
Estampa com ferrugem
Quelantes
Hidrogel
Arte contemporânea

KEYWORDS

Textile painting
Rust print
Chelating agents
Hydrogel
Contemporary art

Introdução

A pintura em tela é uma técnica artística que consiste em se pintar sobre um tecido que é esticado para formar um suporte rígido. Além desta pintura, há também a pintura em tecido. A distinção entre essas duas técnicas foi historicamente um desafio devido às semelhanças entre si, como as fibras do suporte e as técnicas pictóricas utilizadas, como óleo, acrílica, têmpera à ovo etc. Thompson, Smith e Lennard [1] apresentaram uma definição que permite distinguir os dois tipos de pintura:

Os têxteis utilizados (em pintura em têxtil) são geralmente têxteis não tensionados, projetados para serem flexíveis e espera-se que caiam e se movam, ao contrário das pinturas sobre tela onde a maioria é esticada durante a confecção e exibição para produzir um suporte rígido para a tinta. A tinta pode ser aplicada somente em parte da superfície de um tecido pintado e isto tem implicações em sua aparência, função, degradação e também conservação, assim as áreas pintadas e as não pintadas compreendem duas superfícies distintamente diferentes. (Tradução dos autores)

Acerca das pinturas em têxtil, elas são divididas em dois grupos: (1) têxteis com a superfície completamente pintada, e (2) têxteis com a superfície parcialmente pintada [1]. Além da classificação, nas pinturas em têxteis não é trivial separar os elementos do objeto como acontece na pintura em cavalete, ou seja, suporte, chassi etc. Nesta última, os tratamentos propostos trabalham a partir da divisão do suporte, camada pictórica, verniz e afins. Na pintura em tecido esta separação não é rígida, seus elementos materiais compõem, ao todo, a obra em si. O próprio suporte têxtil faz parte da composição.

Diferentemente de outras tipologias de objetos, como pintura de cavalete e esculturas policromadas, os tecidos geralmente apresentam tanto suporte quanto elementos estéticos amalgamados, uma vez que a base têxtil abriga, em si mesma, os padrões de tecelagem, cores e apliques, configurando-se em uma estrutura que não serve apenas de suporte, mas que literalmente contém os elementos responsáveis pela “visualidade” da peça. [2]

Entre as técnicas disponíveis para a pintura em têxtil, há uma que consiste em se usar objetos enferrujados para estampar suas formas nos tecidos. Um exemplo é a *Stampa a Ruggine della Romagna*, técnica encontrada na região da Romanha na Itália [3]. Consiste em uma tradicional prática de estamparia manual produzida na região, sobretudo pela *Stamperia Marchi*, da Família Marchi. Acredita-se que a técnica tenha se iniciado por volta do século XVIII, em que durante trajetos feitos com o gado pelo território da Romanha os camponeses cobriam os seus animais, para protegê-los do frio, com tecidos estampados com motivos iconográficos de Santo Antônio Abade, protetor do mundo agrícola e dos animais. Os moldes de padrões da estampa são talhados em madeira, como na xilogravura, e a tinta é obtida a partir da ferrugem de partes metálicas enferrujadas.

Neste artigo, será apresentada a remoção de manchas de uma pintura em têxtil obtida por técnica mista de estampa com ferrugem e aquarela da artista brasileira Tânia Caçador. A obra, sem nome, e pertencente à própria autora, compõe uma série de mais de 25 peças realizadas nos anos de 2008 e 2009. É uma obra plana, bidimensional com dimensões de 46 cm de altura por 45 cm de largura (Figura 1). O tecido da pintura é composto por fibra de algodão e possui trama fechada em padrão tafetá, com 30 fios no sentido da trama e da urdidura e torção da fibra em Z. A coloração original do algodão cru é mantida em praticamente toda a obra, cerca de 56 % do suporte; no centro, há a impressão de dois círculos concêntricos, sendo o primeiro de 28,5 cm e o segundo de 14,5 cm de diâmetro, formados pela pigmentação da ferrugem estampada, originárias do formato de uma peça de engrenagem. Para reforçar o formato circular, a artista usou lápis aquarela vermelho e amarelo para complementar a forma e gerar

uma distinção visual entre a ferrugem e a aquarela. Ao todo a composição apresenta o tema do “Ouroboros”, ou seja, da serpente engolindo a própria cauda. Por fim, ela se classifica como têxtil com a superfície parcialmente pintada, o que demanda do Conservador-restaurador atenção tanto às áreas da pintura no têxtil quanto às áreas não pintadas na mesma obra.

Ao longo do tempo, surgiram manchas na obra que passaram a gerar interferências visuais significativas, comprometendo a apreciação estética, a leitura do tema e inviabilizando a sua exposição.

O processo de criação desenvolvido pela artista Tânia Caçador para a obtenção da estampa com ferrugem consistiu nas seguintes etapas:

- Uma superfície plana é coberta com jornal molhado com água, vinagre e sal;
- Um tecido de algodão é selecionado, umedecido com água e esticado sobre o jornal;
- Uma peça de engrenagem de ferro-velho foi escolhida, com o objetivo de ressignificar objetos descartados de forma artística. Ela é umedecida com água, vinagre, sal e colocada sobre o tecido. Sobre o conjunto são colocados pesos;
- Esse sistema é deixado em repouso por 1 semana, sendo que a engrenagem é umedecida nesse tempo com a mesma mistura de água, vinagre e sal;
- Após uma semana o tecido é lavado em água corrente e com sabão de coco;
- O tecido é seco ao ar e a figura impressa é analisada podendo receber retoques;
- Uma forma de retoque consiste em se usar o produto comercial Semorin Tira Ferrugem (solução aquosa de ácido oxálico, pH 1), com swab de algodão ou pincel fino. O uso do Semorin demanda por outro processo de lavagem e secagem;
- Outra forma de retoque aplicado consiste no uso de lápis aquarela.



Figura 1. Obra, sem nome, da artista brasileira Tânia Caçador feita com técnica mista de estampa com ferrugem e aquarela.

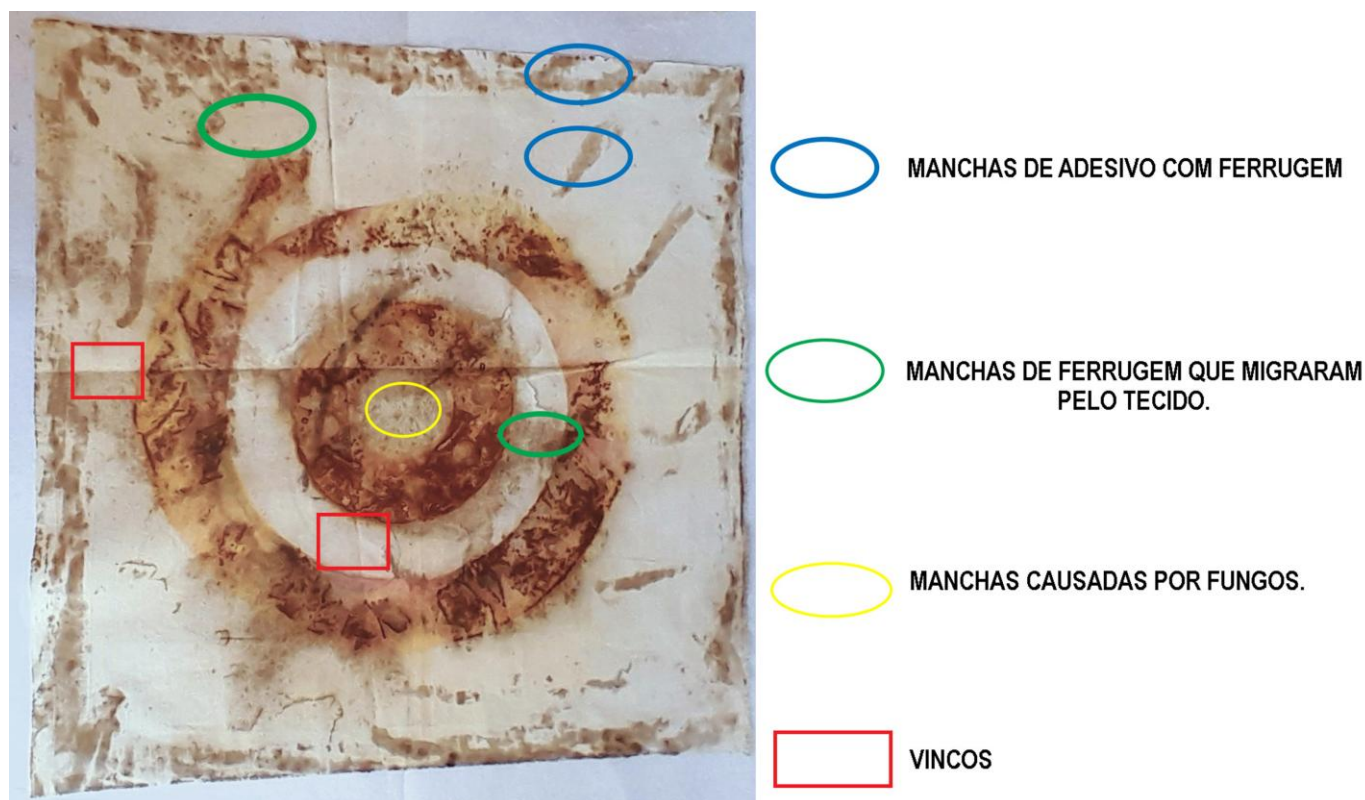


Figura 2. Mapa de danos da obra.

O estado de conservação da obra é resultado do processo de exposição ao qual esta foi submetida e das diferentes condições de acondicionamento. Acerca das exposições, ela passou por uma sequência de eventos que se estenderam do ano de 2009 a 2021. Por ser uma obra têxtil, sua flexibilidade é fundamental para sua identidade, porém para sua exposição ela foi fixada em papel paraná, um papel rígido de alta gramatura feito com fibras de pinus, com um adesivo acrílico, provavelmente aplicado na forma líquida. Condições inadequadas de umidade provocaram a migração da ferrugem para várias partes da obra, incluindo aquelas nas quais havia adesivo usado na fixação da obra no papel paraná. A umidade também proporcionou um ambiente propício para o desenvolvimento de fungos, que estavam inativos antes que o processo de conservação e restauro tivesse início, mas que também geraram manchas. Dessa forma, a temporada de exposições e as más condições expográficas e de acondicionamento, levaram a obra a apresentar as seguintes irregularidades: sujidades generalizadas como particulados e pelo animal; resquícios de adesivo usado para fixação nas exposições; resquício do papel usado para a fixação da obra em chassis; manchas causadas pela interação do adesivo com a oxidação da ferrugem da estampa; manchas de ferrugem que migraram pelo tecido; manchas causadas por fungos agregadas com as manchas de ferrugem; vincos e marcas de dobras de acondicionamento. Na [Figura 2](#), temos uma imagem do mapa de danos da obra indicando as irregularidades discutidas.

As ações de conservação e restauro demandaram, então, uma ação de remoção planejada e adequada à intervenção em têxteis que permitisse que a mesma pudesse novamente ser apreciada e exposta assim como que respeite a materialidade e imaterialidade da obra. Para estes materiais, uma limpeza mal coordenada pode retirar detalhes com grande potencial informativo, uma vez que a limpeza de têxteis é um processo irreversível [4]. Uma abordagem considerada inadequada seria a remoção total de todas as manchas de ferrugem. Estas manchas surgiram ao longo da vida expositiva da obra, decorrentes da própria técnica de composição, a estampa com ferrugem. Logo, uma retirada completa desses elementos seria uma interferência sobrecarregada e desnecessária sobre um processo natural de comunicação e interação da técnica de estampa com o algodão. A própria artista, em diálogo com a

restauradora, afirmou que o fato de não usar materiais usuais com um comportamento que já foi observado ao longo da história da arte, como tinta a óleo ou a acrílica, fez com que ela estivesse preparada para as surpresas e para a organicidade que a técnica vai ofertar ao próprio trabalho. É de seu interesse dialogar com esses materiais e suas propostas. Assim, elementos que poderiam ser lidos como deterioração ou interferência estética, como o arraste da ferrugem, não a incomodam, pois ela entende como elemento de criação da própria obra. Desse modo, sua participação foi decisiva ao auxiliar na decisão do momento no qual a legibilidade da obra se tornou adequada durante o restauro, ou seja, na qual sua mensagem inicial estava em harmonia com a ação do tempo na obra.

O desafio do processo foi então encontrar a medida adequada para a limpeza da obra. De acordo com Eastop:

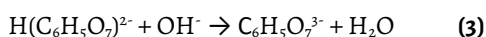
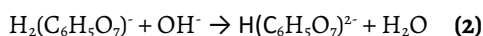
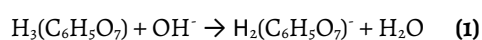
A limpeza pode ser muito eficaz para revelar têxteis desfigurados por sujidades e vincos; pode melhorar a preservação a longo prazo dos têxteis, removendo sujidades que resultam em danos mecânicos ou químicos; (...) O ethos da intervenção mínima parece substituir a reversibilidade como critério chave na conservação. Esta mudança reflete-se na crescente importância da conservação preventiva. [4]

A proposta de limpeza foi pautada, então, sob a ótica da intervenção mínima, visando uma redução das manchas até garantir uma legibilidade da obra que permitisse sua apreciação.

Como as manchas presentes na obra, que dificultavam sua leitura e o tema do Ouroboros, possuíam frações da ferrugem que migraram com umidade, propôs-se que fossem removidas com agentes quelantes que teriam interação com o ferro presente neste material na forma de compostos como goetita (α -FeOOH) e lepidocrocita (γ -FeOOH), principais componentes da ferrugem [5]. Como a ferrugem penetra no tecido, a limpeza química úmida consegue ser eficiente na sua remoção [5].

Entre quelantes empregados para este tipo de limpeza, encontram-se o EDTA, ácido cítrico e ácido oxálico [6]. Miao [5] utilizou o EDTA dissódico combinado com ácido ascórbico para a remoção de manchas de ferrugem de têxteis de algodão. O ácido ascórbico possuía uma ação redutora das espécies de Fe para facilitar a coordenação pelo EDTA. O ácido cítrico diluído, entre outros reagentes, encontra-se entre os reagentes indicados para remoção de manchas de Fe(II) [7]. Haldane [8] utilizou o citrato de triamônio para a limpeza de tapetes no Victoria and Albert Museum. Smets [9] usou uma solução inicial de ácido cítrico com ácido bórico neutralizada com NaOH até pH 8,5.

É importante frisar que alguns quelantes como o EDTA, ácido cítrico e ácido oxálico são espécies ácidas. Esta acidez já foi considerada antigamente como vantajosa por acelerar a dissolução dos produtos de corrosão do ferro em manchas. Entretanto, ela é prejudicial às fibras dos tecidos causando reações como a hidrólise ácida em algodão [6]. Por outro lado, a maior eficiência destes quelantes para reagir com metais como o Fe, em uma reação de coordenação, ocorre quando se encontram totalmente desprotonados, ou seja, sem nenhuma espécie H^+ , em um meio não ácido. O controle do pH do meio permite esta desprotonação. Como exemplo, no caso do ácido cítrico, que é um ácido triprótico, com 3 H^+ , $H_3(C_6H_5O_7)$, o aumento do pH do meio com a adição de uma base leva à reação sequencial com cada H^+ disponível (Equação 1-3). Ao final, temos o sal citrato totalmente desprotonado, $C_6H_5O_7^{3-}$ (Equação 3). Esta espécie é a mais eficiente para reagir com os íons Fe.



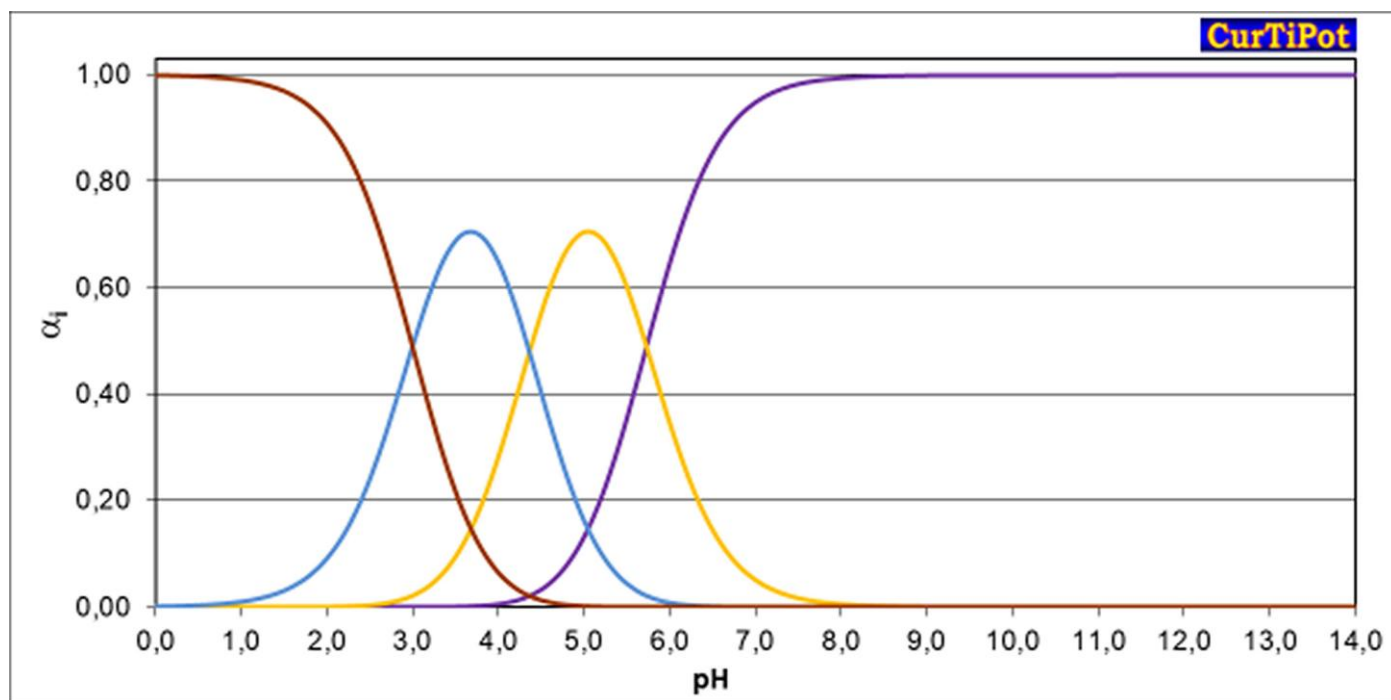


Figura 3. Curva de distribuição de espécies (gráfico de α) do ácido cítrico em função do pH. As quatro curvas correspondem, da esquerda para a direita, às concentrações do ácido cítrico totalmente protonado e às espécies geradas na Equação 1-3.

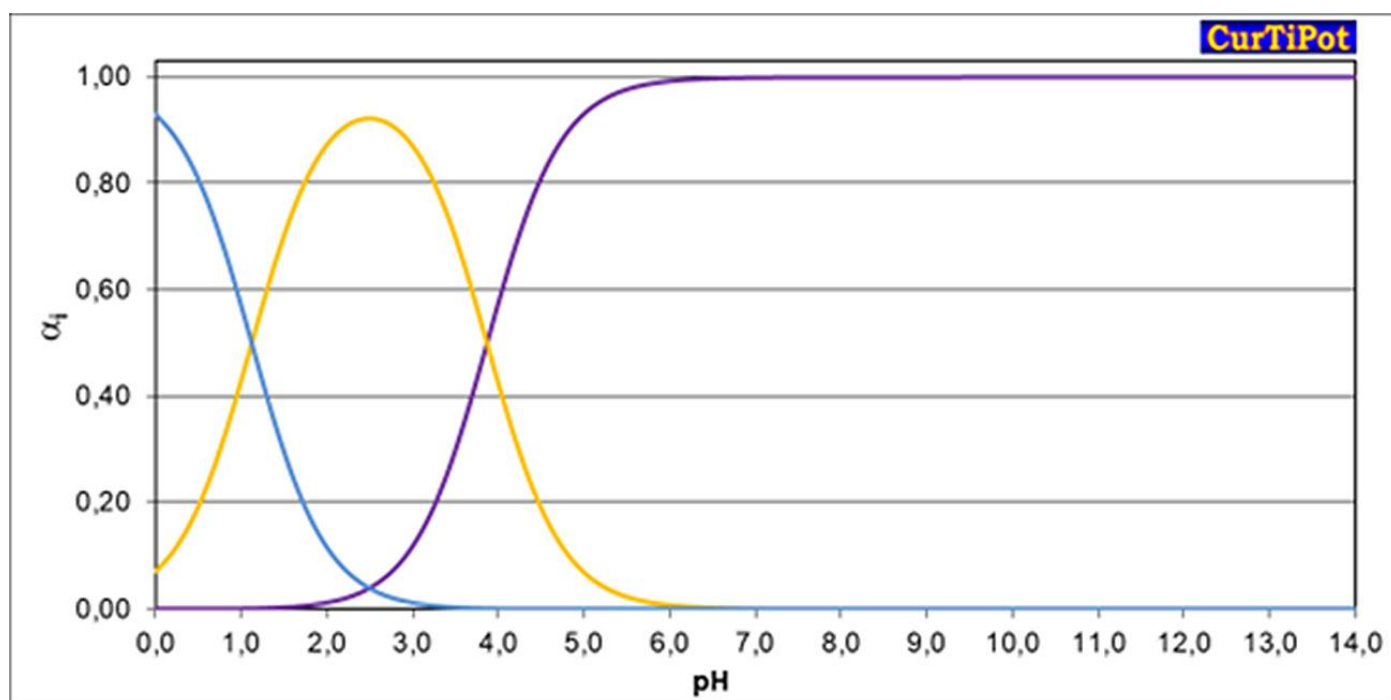


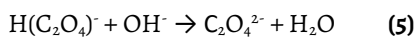
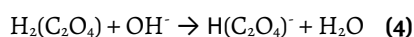
Figura 4. Curva de distribuição de espécies (gráfico de α) do ácido oxálico em função do pH. As três curvas correspondem, da esquerda para a direita, às concentrações do ácido oxálico totalmente protonado e às espécies geradas na Equação 4-5.

A distribuição das espécies protonadas e desprotonada em relação ao pH ficam mais facilmente visualizáveis em um diagrama de distribuição de espécies (ou gráfico de α , sendo α a composição da espécie na solução). Para o ácido cítrico, este diagrama [10] se encontra na Figura 3. As quatro curvas correspondem, da esquerda para a direita, às concentrações do ácido cítrico totalmente protonado e às espécies geradas nas Equação 1-3.

Pelo diagrama da Figura 3, observa-se que há predominância da espécie citrato, totalmente desprotonada, a partir de cerca do valor 8,5 de pH. Este valor de pH além de ser o de melhor

eficiência para a ação do quelante é, também, um valor seguro para as fibras de algodão ao evitar processos de hidrólise, tanto ácidas quanto básicas [6].

O ácido oxálico, $H_2(C_2O_4)$, por sua vez, é uma espécie ácida diprótica, com 2 H^+ . A sua espécie é totalmente desprotonada por neutralização, espécie oxalato, em uma sequência de duas reações (Equação 4-5). Ela pode ser encontrada a partir do pH 7 como se pode ver no diagrama [10] da Figura 4.



Decidimos usar estes dois quelantes, citrato e oxalato, em faixas de pH de 7,5-8,0 e de 5,5-6,0 respectivamente de modo que tivessem eficiência para a remoção e, ao mesmo tempo, não agredissem as fibras do tecido. Estas faixas de pH possuem valores adequados para o tratamento, uma vez que a celulose presente no algodão pode sofrer hidrólise ácida em meios de baixo pH e hidrólise básica em meios de alto pH [7], ou seja, manter o algodão entre valores de pH entre 5 e 8 são adequados para evitar as hidrólises [6]. Inicialmente foi usado o citrato e, para manchas com maior dificuldade para remoção, usou-se o oxalato.

O fato destes quelantes estarem em solução aquosa gera o risco de eles migrarem pelo tecido. Na obra em restauro, têxtil de algodão com a superfície parcialmente pintada com aquarela, esta migração pode espalhar as manchas para áreas sem composição. Para auxiliar no controle desta migração, uma das estratégias foi aplicar as soluções dos quelantes dispersas em um gel. Os géis são sistemas coloidais formados por um dispersante e um disperso, no qual o dispersante é geralmente um polímero sólido que consegue reter o disperso, um líquido, entre suas ligações covalentes. Quando o disperso é um líquido orgânico, o gel é denominado organogel e, se este líquido é água, a denominação é hidrogel [11]. Os géis possuem viscosidades variadas, podendo ser altas o suficiente para restringirem a dissolução à área na qual foram aplicados [12]. Outra vantagem é que esses sistemas são opticamente transparentes o que permite que sua ação de limpeza seja monitorada visualmente durante a aplicação. [12]. Além dos próprios géis, foram utilizados papéis mata-borrão no verso da obra para maior auxílio no controle da migração do solvente.

Como as soluções dos quelantes são aquosas, usou-se a goma xantana como agente gelificante para obter um hidrogel. A goma xantana é um polissacarídeo de fácil acesso, preparo e de baixa toxicidade. Ela é um aditivo utilizado na indústria farmacêutica e alimentícia, como agente espessante, emulsificante e um estabilizante. Estas características a tornam uma opção sustentável como gel na restauração de obras de arte, o que justifica seu uso amplo na limpeza de diversos materiais artísticos [13-14].

Metodologia

Equipamentos e reagentes

As medidas de pH foram realizadas em um pHmetro de bancada AZ 86505 Multi-parameter. O equipamento foi calibrado em três valores de pH, 4, 7 e 10, utilizando tampões de pH da marca Akso. Os géis e soluções foram homogeneizados com um mini mixer portátil Kehome. O citrato de sódio diidratado, hidróxido de sódio micro pérolas, acetato de isoamila, isopropanol e etanol utilizados foram todos de qualidade PA da marca Synth. O ácido oxálico utilizado foi da solução da marca Semorin Tira Ferrugem do fabricante Semorin. A goma xantana utilizada foi da marca Exodo Científica.

Obtenção do hidrogel, soluções de quelantes e géis

O hidrogel de goma xantana a 5 % foi obtido pela mistura de 0,5 g de goma xantana com 9,5 mL de água destilada. Em seguida, com um misturador portátil à bateria, agitou-se a mistura até a consistência de um gel homogêneo.

A solução aquosa a 10 % de citrato de sódio foi obtida pela dissolução de 1g do soluto em 9,0 mL de água destilada. O volume de 1,5 mL desta solução foi adicionado a 1,5 g do hidrogel de goma xantana. Este sistema será referenciado ao longo do texto como Gel Citrato. O sistema final apresentou um pH de aproximadamente 7,5–8,0 medido pelo pHmetro.

A solução de oxalato de sódio foi obtida a partir de solução comercial de ácido oxálico: Semorin Tira Ferrugem [15]. O pH da solução comercial é 1 e ela contém ácido oxálico na concentração de 1 a 3 %. Este valor de pH é eficaz para a dissolução das manchas de ferro mas danoso à fibra de algodão sendo desaconselhado para limpeza de bens culturais [6]. Para um uso seguro, aumentou-se o seu valor de pH para 5 pela adição lenta de micropérolas de NaOH a 50 mL de solução sob agitação magnética. O pH foi monitorado por pHmetro de bancada. Após esta etapa, 5 mL da solução foi adicionado a 5 g do hidrogel de goma xantana. Este sistema será referenciado ao longo do texto como gel oxalato. O sistema final apresentou um pH de aproximadamente 5,5–6,0.

Limpeza

O processo de limpeza dividiu-se em: higienização; remoção de resíduos de papel; remoção de adesivo e limpeza química. A higienização foi realizada utilizando trinchas macias para a retirada de particulados soltos. Não foi realizada limpeza por sucção controlada, pois muitos dos particulados estavam aderidos aos resquícios do adesivo e precisavam ser retirados pontualmente com outras ferramentas como bisturis e espátulas dentárias. Particulados aderidos ao adesivo como pelos de animais e alguns grãos de sujeira foram removidos usando uma pinça.

Os resquícios de papel panamá foram removidos com o auxílio de um bisturi com lâmina pouco afiada para evitar danos às fibras do suporte. O adesivo utilizado anteriormente para a fixação do papel panamá se encontrava na obra com uma grande espessura em sua superfície. Além de se encontrar sobre o tecido, ele também se encontrava impregnado no tecido, formando manchas com resíduos de ferrugem que migraram ao longo do tempo. A remoção do adesivo superficial considerou inicialmente a escolha de um solvente que fosse capaz de inchá-lo sem dissolução. Esta característica é importante pois a dissolução pode levar à dispersão do adesivo nas fibras impregnando-as. Por sua vez, o inchamento é preferencial pois deixa o adesivo macio o suficiente para uma limpeza mecânica [7]. A seguinte sequência de solventes foi testada por ordem crescente de polaridade em relação aos parâmetros de solubilidade δ_p e δ_H de Hansen: aguarrás, acetato de isoamila, álcool isopropílico, etanol e água (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de parâmetros de solubilidade de Hansen para os solventes testados na remoção do adesivo presente na obra.

Parâmetro de Solubilidade de Hansen	Solvente				
	Aguarrás	Acetato de Isoamila	Isopropanol	Etanol	Água
δ_d	15,5	15,8	15,8	15,8	15,5
δ_p	3,3	5,2	6,1	8,8	16,0
δ_H	4,0	13,3	16,4	19,4	42,3

O solvente escolhido para a remoção foi o acetato de isoamila que foi capaz de inchar o adesivo sem solubilizá-lo. Ele foi aplicado com swab diretamente sobre o adesivo sem o uso de gel. Posicionou-se um papel mata-borrão sob o tecido, nas áreas de limpeza, de modo a auxiliar na contenção da migração do sistema solvente.

Os géis com soluções quelantes foram utilizados nas regiões com: manchas de ferrugem apenas; manchas de ferrugem com resíduos de adesivo impregnado e manchas de ferrugem com manchas ocasionadas por fungos. Os géis foram aplicados em áreas de cerca de 5 × 5 cm

para maior controle do processo. Como realizado na remoção do adesivo, posicionou-se um papel mata-borrão sob o tecido para conter a migração do sistema solvente.

Nas áreas de manchas de ferrugem, aplicou-se o gel citrato que ficou em repouso por 5 a 25 minutos de acordo com a intensidade da mancha.

Nas áreas de manchas de ferrugem com resíduos de adesivo impregnado, aplicou-se o gel citrato que ficou em repouso por 5 a 25 minutos de acordo com a intensidade da mancha. O excesso de gel era retirado com um swab seco e aplicou-se acetato de isoamila para auxiliar na remoção do adesivo impregnado. O processo foi realizado dentro de uma capela de exaustão para que a ventilação externa auxiliasse na evaporação do acetato de isoamila. O material inchado era removido por raspagem mecânica com espátula dentária.

Nas áreas com manchas de ferrugem com manchas ocasionadas por fungos, o gel oxalato ficou em repouso por 20 minutos para manchas de coloração média e 25 minutos para manchas escuras.

Em todas as limpezas com géis, seus excessos eram retirados com um swab seco e seus resíduos eram rinsados com um swab com água deionizada sendo que, apenas nas áreas com resíduo de adesivo, fez-se uma rinsagem com álcool isopropílico anteriormente à rinsagem com água. Por fim, as regiões das limpezas eram secas com ar frio de um secador de cabelo.

Resultados e discussão

Os processos de higienização e eliminação dos resíduos de papel (Figura 5) ocorreram conforme o previsto. A remoção do papel, porém, tornou várias manchas mais evidentes, principalmente nas laterais da obra.

O adesivo superficial foi inchado com o acetato de isoamila o que permitiu a sua remoção mecanicamente com a espátula dentária (Figura 6). Ao ser raspado ele assumia o formato de pequenos aglomerados que se destacavam facilmente da superfície.



Figura 5. Resquíio de papel sendo tirado com bisturi.



Figura 6. Aglomerado de adesivo removido após inchamento com acetato de isoamila.

Nas áreas de manchas de ferrugem e ferrugem com adesivo impregnado, aplicou-se o gel citrato nas condições descritas na metodologia. Além de dificultar a migração do solvente, o gel permitia também uma aplicação localizada nas manchas evitando-se atingir áreas de pintura de ferrugem e aquarela (Figura 7).



Figura 7. Hidrogel aplicado sobre áreas de manchas da obra.



Figura 8. Swab com coloração marrom - amarela de resíduos das manchas retidas no hidrogel.

Aspectos importantes surgiram durante a limpeza e que definiram o tempo de aplicação. O primeiro está associado ao próprio aspecto visual do gel aplicado que permitia visualizar a intensidade da limpeza. Como os géis são transparentes, tornou-se fácil observar que os swabs tinham sua coloração alterada para uma cor marrom à medida que o gel removia as manchas (Figura 8), tornando-se cada vez mais claros quando não eram mais capazes de removê-las. É importante frisar que a cor original das manchas é semelhante à cor dos produtos formados entre o citrato e as espécies de ferro, entre outros íons, removidos [16]. Desse modo, a ausência de cor é um método que permite aferir a eficiência da limpeza e a ação do quelante.

O segundo aspecto foi em relação ao tempo de repouso do hidrogel que deveria ser o necessário para a remoção efetiva da mancha sem migração no tecido. Mesmo com o uso de gel e papel mata-borrão, há uma lenta migração da água usada como solvente imperceptível a olho desarmado. Em áreas próximas a áreas aquareladas, sensíveis à água, o tempo de repouso se limitava a cinco minutos no máximo, mesmo que a observação visual do swab indicasse que o gel seria capaz de remover mais a mancha de ferrugem. Nestas situações, o gel passava por todo o procedimento de aplicação, rinsagem e secagem, descritos na metodologia, até que a remoção desejada fosse alcançada. Em outras áreas, nas quais uma pequena migração não colocasse em risco às representações na obra, um tempo maior era permitido. Este tempo, porém, dependia da intensidade da mancha e, mesmo assim, não ultrapassou 25 minutos, tempo máximo observado para que a migração do solvente, imperceptível a olho desarmado, fosse a mínima possível.

O terceiro aspecto foi em relação à reaplicação do gel e acetato de isoamila até se obter uma unidade estética. Como as manchas possuíam diferentes intensidades, suas remoções foram inicialmente desiguais. Isto demandou que se priorizasse as manchas mais escuras inicialmente até se observar a tonalidade que se poderia alcançar com elas. Quando algumas manchas limpas destoavam das demais, novas aplicações eram feitas até que uma tonalidade semelhante fosse alcançada de modo a se alcançar uma homogeneidade na obra sem criar pontos de destaque que dificultassem a sua leitura. É importante citar novamente aqui o que foi discutido na introdução sobre ser inadequado uma remoção total das manchas que fazem parte da história da obra.

Em relação às áreas com apenas manchas de ferrugem, observou-se uma boa ação e controle do gel citrato. No caso das manchas de ferrugem com manchas de fungo, estas se mostravam

resistentes à ação deste gel, não havendo significativa alteração de sua cor. Desse modo, decidiu-se reduzir o pH para aumentar a solubilidade das manchas. O valor mínimo aceitável era o da água destilada, entre 5,5-6,5, devido à presença de H_2CO_3 resultante do equilíbrio com CO_2 atmosférico [17]. De acordo com a Figura 3, nesta faixa de pH o citrato não se encontra totalmente dissociado, havendo a presença de espécies protonadas, o que diminuiria sua eficiência como quelante. Desse modo, como já discutido na introdução, optamos por outro quelante, o oxalato. Este possui, em concentração majoritária, a sua espécie totalmente desprotonada nesta faixa de pH sendo, por isso, um quelante mais eficiente. Isto se observou na limpeza sendo que o swab da limpeza apresentou novamente coloração marrom - amarela, atribuída agora à formação do complexo de ferro com oxalato e as manchas tinham sua intensidade reduzida.

À medida que a limpeza era executada, a leitura da obra se tornava mais adequada. O seu tema central da figura no estilo de “ouroboros”, se tornava cada vez mais visível. No início do restauro, como discutido na introdução, as manchas impediam de se observar o “ouroboros”. Esta figura se tornou cada vez mais visível durante o procedimento. No momento em que a obra apresentou uma estética que permitiu sua apreciação, julgou-se que a limpeza havia alcançado seu objetivo. Outro critério que define a extensão da remoção da mancha é baseado no risco que esta causa ao suporte. No caso da obra em estudo, as manchas de ferrugem são em si uma parte importante de sua construção, então uma remoção total não seria também adequada. Sachdeva resume estas considerações:

Às vezes, uma mancha é identificada como parte da história do objeto e, nesses casos, a limpeza localizada é realizada apenas para remover matéria orgânica presente na mancha, que, de outra forma, aceleraria o processo de deterioração do têxtil. A coloração resultante da mancha costuma ser preservada e deixada como parte da narrativa do tecido e de seu encontro com a mancha. Caso a mancha seja um fenômeno indesejado ou acidental, que comprometa a aparência e a história do objeto, ela será removida ou disfarçada apenas na medida em que isso não prejudique a resistência e a cor do tecido. [18] (Tradução dos autores)

Após toda limpeza, a obra foi umidificada pela névoa de um umidificador ultrassônico. Em seguida, uma placa Foam foi coberta por entretela e a obra foi disposta sobre ela e presa com alfinetes entomológicos, para que pudesse secar lentamente de forma planificada e retirar todos os vincos.

Por fim, mesmo que a aplicação do gel oxalato tenha sido realizada em pH levemente ácido, a obra foi desacidificada com Bookkeeper de modo que o pH da obra fosse levemente alcalino e, com isso, evitasse deterioração posterior por hidrólise ácida. Entre os métodos de desacidificação disponíveis, o Bookkeeper foi escolhido por ter sido avaliado anteriormente como um dos que causam menos alterações em aquarelas, uma parte fundamental da obra [19] e também poucas alterações em fibras têxteis de origem vegetal [20]. Sua aplicação na forma de spray também auxilia em causar menos danos ao permitir se aplicar uma pequena quantidade do material desacidificante [21].

O Bookkeeper foi borrifado sobre um papel neutro (pH 7) filifold até que o pH desta superfície alcançasse uma faixa de valor entre 8 e 10. A obra foi colocada sobre esse papel e seu pH foi monitorado ao longo de 1 semana até que este alcançasse um valor próximo a 8.

A Figura 9 apresenta a obra antes e após a conservação e restauro.



Figura 9. Obra: a) antes e b) após a conservação e restauro.

Conclusões

Tratar objetos de arte contemporânea é um desafio devido aos distintos diálogos que essas obras têm entre o material na qual se constituem, a intenção do artista e sua concepção de arte, e as distintas relações que essa criação terá com seu público.

O processo de restauro da obra em estudo exigiu um olhar atento e pouco mecanizado para todos os aspectos físicos e ontológicos da obra, que envolveram desde critérios de conservação de têxteis como objetos artísticos, o estudo da técnica artística da estampa em ferrugem e o conhecimento químico das propriedades de solventes, quelantes e géis.

O hidrogel com agente quelante correspondeu às expectativas e intenções de retirada de manchas e particulados que ameaçavam a integridade física do material, e ainda permitiu manter resquícios da história expositiva da obra e de sua relação com o tempo. Ele também foi coerente com o comportamento da fibra diante da umidade, mitigando qualquer tipo de dano que poderia ter-se apresentado ao longo do processo.

A proposta de tratamento aplicada foi capaz de proteger a obra de seus danos passados e de minimizar as possíveis deteriorações que o processo de limpeza poderia oferecer ao algodão. Ela também possibilitou a reformulação da leitura estética da obra sem ofender os parâmetros de comunicação entre obra e tempo que foram estabelecidos por Tânia Caçador, sua autora.

REFERÊNCIAS

1. Thompson, K.; Smith, M.; Lennard, F., 'A literature review of analytical techniques for materials characterization of painted textiles –Part 1: categorizing painted textiles, sampling and the use of optical tools', *Journal of the Institute of Conservation* **40**(1) (2017) 64-82, <https://doi.org/10.1080/19455224.2016.1269355>.
2. Neira, L. G., 'Têxteis como patrimônio cultural', *Cultura Histórica e Patrimônio* **3**(1) (2015) 5-23.
3. Tavares, A. F., 'A Estamparia tradicional de tecidos da Romagna', in *Circolo Emilia-Romagna di San Paolo-Brasile*, <https://circoloemiliaromagnadisanpaolo.blogspot.com/2018/02/la-stampa-ruggine-della-romagna.html> (acesso em 2025-07-30)
4. Eastop, D.; Brooks, M. M., 'To clean or not to clean: the value of soils and creases', in *ICOM committee for conservation, 11th triennial meeting in Edinburgh, Scotland, 1-6 September 1996. Preprints*, ICOM-CC, Edimburgo (1996) 687-691.
5. Miao, B.; Zhao, Z.; Guo, P., 'Cleaning iron rust compounds from cotton textiles: application to Qing Dynasty armor', *Heritage Science* **11**(56) (2023), <https://doi.org/10.1186/s40494-023-00885-9>.

6. Timár Balázs, A.; Györk, M.; Csányi, S., 'Effect of stains and stain removal on historical textiles', in *ICOM Committee for Conservation tenth triennial meeting, Washington, DC, 22-27 August 1993. Preprints*, ICOM-CC, Washington (1993) 330-335.
7. Tímár-Balázs, Á.; Eastop, D., *Chemical principles of textile conservation*. Routledge, Oxford (2012).
8. Haldane, E., 'So that's why textile conservation has such a big studio!', *Conservation Journal* **32** (1999) 17-20, [Journal 32 Text pages](#) (acesso em 2025-08-06).
9. Smets, A.; De Vis, K.; Ortega-Saez, N., 'A challenging treatment of an 18th century embroidered textile using gel cleaning in combination with decamethylcyclopentasiloxane (D5) silicone solvent barriers', *Conservar Patrimônio* **31** (2019) 41-52, <https://doi.org/10.14568/cp2018023>.
10. Gutz, I. G. R., *CurTipot - pH e curvas de titulação potenciométrica: Análise e Simulação, versão 4.3.1*, <http://www.iq.usp.br/gutz/Curtipot.html> (acesso em 2024-11-02).
11. Stavroudis, C.; Blank, S., 'Solvents & sensibility', *WAAC Newsletter* **11**(2) (1989) 2-10, <http://cool.conservation-us.org/waac/wn/wn11/wn11-2/wn11-202.html> (acesso em 2025-08-06).
12. Baglioni, P.; Berti, D.; Carretti, E.; Dei, L.; Fratini, E., 'Nanoscience for art conservation: oil-in-water microemulsions embedded in a polymeric network for the cleaning of works of art', *Angewandte Chemie* **48**(47) (2009) 8966-8969, <https://doi.org/10.1002/anie.200904244>.
13. Guilminot, E., 'The use of hydrogels in the treatment of metal cultural heritage objects', *Gels* **9**(3) (2023) 191, <https://doi.org/10.3390/gels9030191>.
14. Khaksar-Baghan, N.; Koochakzaei, A.; Hamzavi, Y., 'An overview of gel-based cleaning approaches for art conservation', *Heritage Science* **12** (2024) 248, <https://doi.org/10.1186/s40494-024-01369-0>.
15. 'Tira Ferrugem', in *Semorin*, <https://semorin.com.br/produtos/tira-ferrugem-semorin/> (acesso em 2024-10-08).
16. Gautier-Luneau, I.; Merle, C.; Phanon, D.; Lebrun, C.; Biaso, F.; Serratrice, G.; Pierre, J. L., 'New trends in the chemistry of iron (III) citrate complexes: correlations between X-ray structures and solution species probed by electrospray mass spectrometry and kinetics of iron uptake from citrate by iron chelators', *Chemistry—A European Journal* **11**(7) (2005) 2207-2219, <https://doi.org/10.1002/chem.200401087>.
17. Talling, J. F., 'pH, the CO₂ system and freshwater science', *Freshwater Reviews* **3**(2) (2010) 133-146, <https://doi.org/10.1608/FRJ-3.2.156>.
18. Sachdeva, K.; Suri, M.; Bhagat, S., 'Efficacy of enzymes and other stain removal techniques in museum textiles', *International Journal of Research in Applied Science and Engineering Technology* **8**(3) (2020) 1293-1298, <https://doi.org/10.22214/IJRASET.2020.3238>.
19. Jeżewska, E.; Kurkowska, J.; Załęska, K.; Zatorska, A., 'Studies on watercolour deacidification by means of the Bookkeeper preparation', *Optics for Arts, Architecture, and Archaeology IV* **8790** (2013) 879013, <https://doi.org/10.1117/12.2020347>.
20. Nani, A.; Ricci, C.; Gatti, A.; Agostino, A., 'A study and comparative analysis of the action of the deacidifying products bookkeeper® and nanorestore paper® on plant textile fibres', *Heritage* **8**(7) (2025) 287, <https://doi.org/10.3390/heritage8070287>.
21. Daniels, V., 'Colour changes of watercolour pigments during deacidification', *Studies in Conservation* **27**(sup1) (1982) 66-70, <https://doi.org/10.1179/sic.1982.27.Supplement-1.66>.

RECEBIDO: 2025.8.9

REVISTO: 2025.11.17

ACEITE: 2026.3.11

ONLINE: 2026.6.3



Licenciado sob uma Licença Creative Commons

Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 International.

Para ver uma cópia desta licença, visite

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.pt>.

Entre função, comunicação e conservação: reflexões em torno da conservação de objetos de design científico contemporâneo – o caso de *Fertility Object* de Susana Soares

Between function, communication and conservation: reflections on the conservation of contemporary scientific design objects – the case of *Fertility Object* by Susana Soares

INÊS COUTINHO^{1,2*} CRISTIANA DAMAS^{1,2,3}SUSANA FRANÇA DE SÁ^{1,3*} 

1. Unidade de Investigação
VICARTE - Vidro e Cerâmica para
as Artes, NOVA FCT, Campus de
Caparica 2829-516 Caparica,
Portugal

2. Dep. de Conservação e Restauro,
NOVA FCT, Campus de Caparica
2829-516 Caparica, Portugal

3. LAQV REQUIMTE, NOVA School
of Science and Technology | NOVA
FCT, Campus de Caparica 2829-516
Caparica, Portugal

*icoutinho@fct.unl.pt; susana.sa@fct.unl.pt

Resumo

A conservação de objetos de design contemporâneo que combinam função científica, interação e fragilidade material, exige abordagens metodológicas que ultrapassem os tratamentos convencionais centrados exclusivamente na materialidade. Este artigo propõe uma metodologia de conservação para objetos de design científico contemporâneo, utilizando *Fertility Object* de Susana Soares como caso de estudo. A metodologia integra caracterização material, avaliação de estratégias de conservação, reconhecimento dos valores tangíveis e intangíveis e diálogo interdisciplinar entre conservadores, a designer e a instituição museológica. Através deste processo, o estudo aborda a tomada de decisão relativa à limpeza, à preservação de marcas de uso e às estratégias expositivas, equilibrando integridade material, autenticidade funcional e clareza comunicativa. Mais do que apresentar uma solução aplicada a um único objeto, o artigo demonstra um quadro metodológico transferível, assente em valores e colaboração, capaz de apoiar decisões de conservação e curadoria de objetos contemporâneos complexos situados na interseção entre design, ciência e museologia.

Abstract

The conservation of contemporary design objects that combine scientific function, interaction and material fragility requires methodological approaches that go beyond conventional material-based treatments. This article proposes a conservation methodology for contemporary scientific design objects, using *Fertility Object* by Susana Soares as a case study. The methodology integrates material characterization, experimental testing of conservation strategies, assessment of tangible and intangible values, and interdisciplinary dialogue between conservators, the designer and the museum institution. Through this process, the study addresses decision-making related to cleaning, preservation of use-related traces, and exhibition strategies, balancing material integrity, functional authenticity and communicative clarity. Rather than presenting a single-object solution, the article demonstrates a transferable, value-based and collaborative framework that can support conservation and curatorial decisions for complex contemporary design objects situated at the intersection of design, science and museology.

PALAVRAS-CHAVE

Conservação de design
científico
Mediação cultural
Conservação de vidro
Tomada de decisão
Entrevistas

KEYWORDS

Conservation of scientific
design
Cultural mediation
Glass conservation
Decision-making
Interviews

Introdução

A conservação de objetos de design enfrenta desafios que transcendem a sua dimensão tangível. Estes objetos são frequentemente concebidos como dispositivos comunicacionais, tecnológicos ou interativos, cuja preservação implica considerar não apenas os materiais constituintes, mas também a função, a experiência do utilizador e os valores que lhes são atribuídos. Neste sentido, o campo da conservação de design partilha afinidades com a conservação de arte contemporânea, sobretudo com obras de carácter interativo ou performativo.

Enquanto área ainda em consolidação, a conservação de objetos de design depara-se com problemáticas específicas, resultantes da diversidade de materiais utilizados, da dimensão funcional dos objetos e da escassa reflexão sobre práticas de exposição e documentação.

O presente artigo parte da análise de *Fertility Object*, concebido pela designer Susana Soares no âmbito do projeto *BEE's* (2007-2009) e atualmente integrado na coleção do Museu do Design (MUDE). Este projeto utilizou a capacidade olfativa das abelhas para detetar odores específicos e propor novas formas de interação entre humanos e sistemas biológicos [1].

A peça *Fertility Object* (Figura 1) constitui um ponto de partida para uma reflexão alargada sobre o papel do conservador na mediação entre conservação, comunicação e função. A peça, em vidro borossilicato transparente, é composta por duas câmaras ocas interligadas — uma menor, destinada ao diagnóstico, e outra maior, onde se mantêm abelhas treinadas para reconhecer odores associados às diferentes fases do ciclo de fertilidade feminino. De forma esférica e delicada, o objeto conjuga ciência e design, traduzindo uma visão em que a função e o significado simbólico são inseparáveis da materialidade.

Durante a sua incorporação no MUDE, foram identificadas preocupações de conservação relacionadas com a fragilidade do vidro, a presença de escorrências e depósitos (Figura 2 e Figura 3), a falta de documentação e a ausência de diretrizes para o manuseamento, acondicionamento, limpeza e exposição. Tais desafios, ainda pouco abordados na literatura, exigem uma abordagem integrada que considere tanto os aspetos tangíveis como os intangíveis dos objetos, posicionando o conservador como mediador entre os diferentes intervenientes — o museu, a designer e o público, entre outros.

Embora a degradação do vidro seja amplamente estudada, persistem lacunas quanto a estratégias de conservação aplicáveis a objetos de design com função interativa e estrutura complexa, nomeadamente formatos que limitam a limpeza de superfícies internas e a necessidade de desenvolver estratégias que permitam mitigar possíveis impactos decorrentes da interação humana.

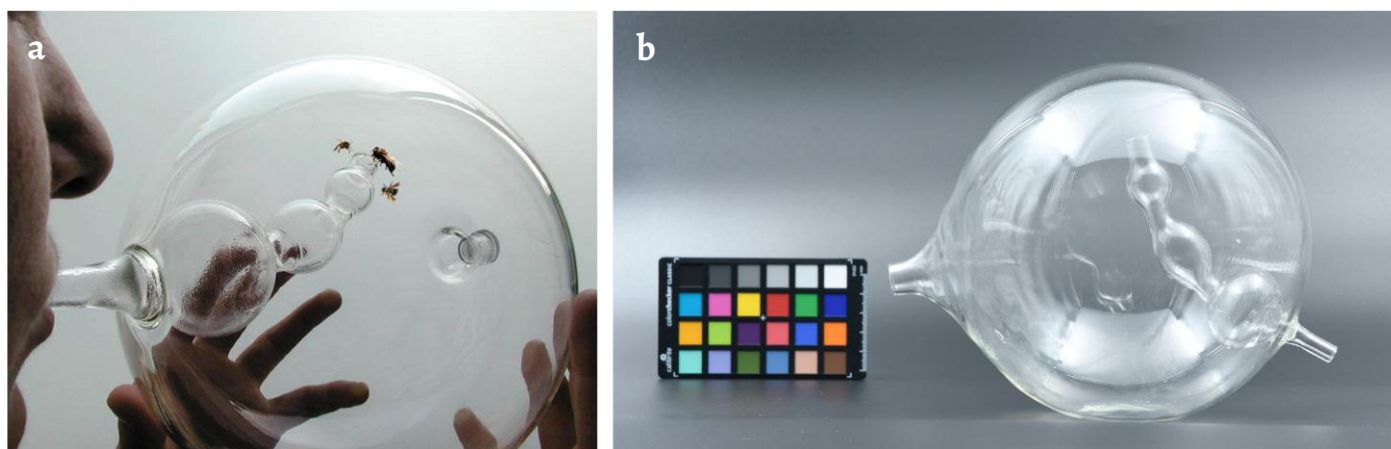


Figura 1. Peça *Fertility Object* de Susana Soares: a) em utilização (2011, foto: Susana Soares) [1]; b) no estúdio de fotografia do Departamento de Conservação e Restauro da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA (DCR, NOVA FCT).

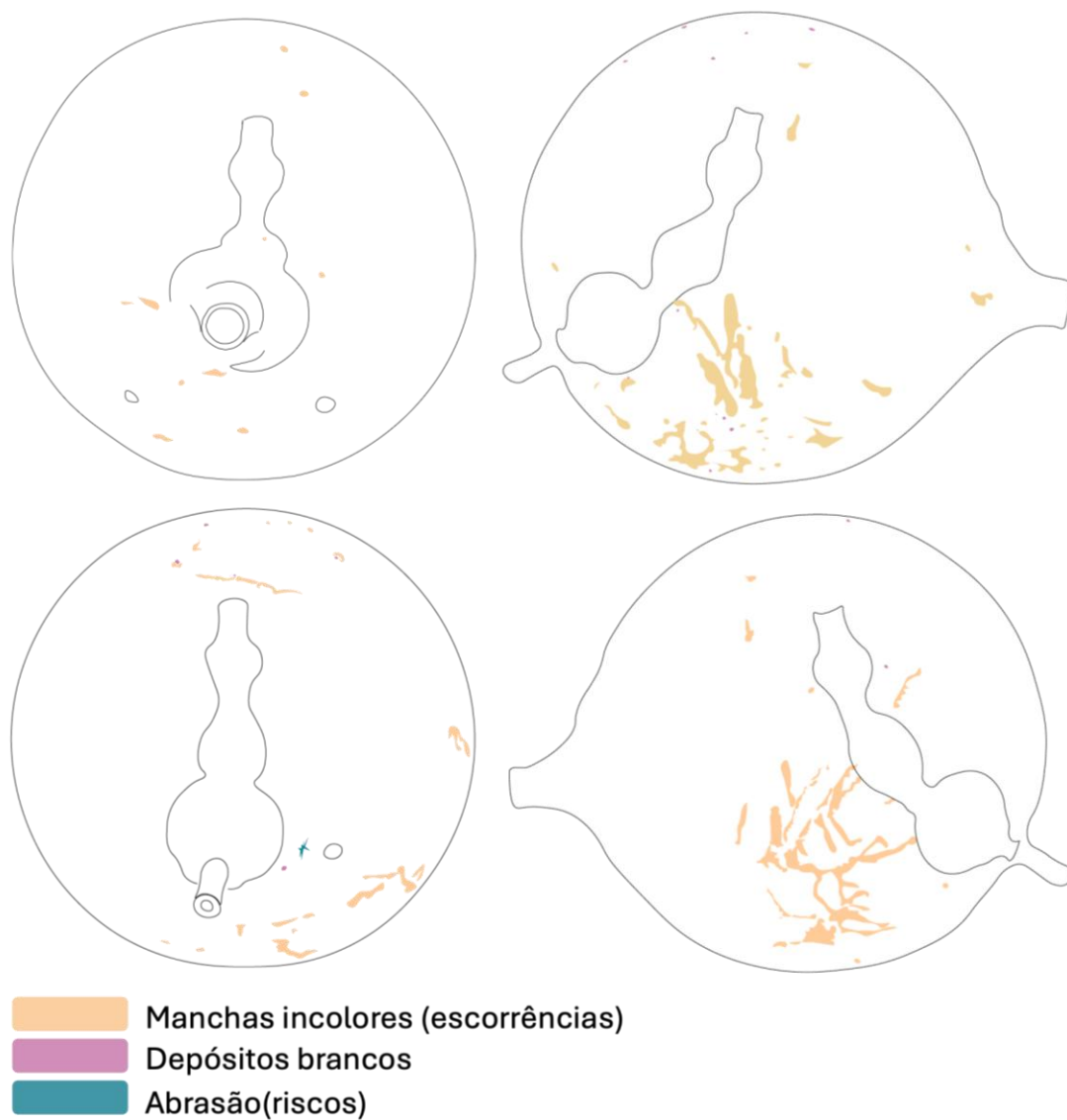


Figura 2. Mapeamento de patologias encontradas no objeto.

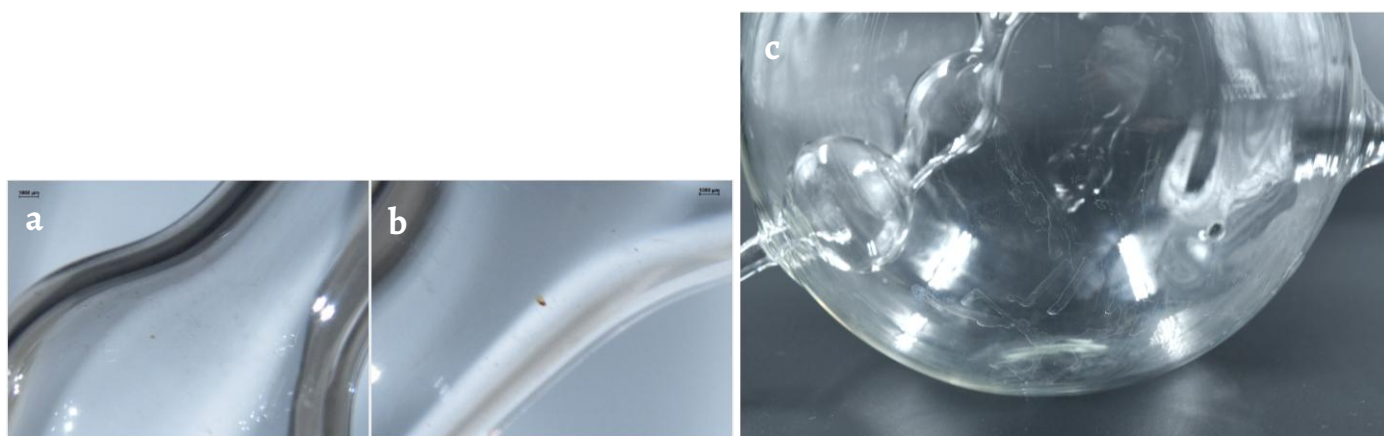


Figura 3. *Fertility Object*: a-b) imagens de estereomicroscópio dos depósitos acastanhados que se encontram no interior da câmara menor; c) depósitos brancos e manchas de escorrências encontradas no interior da câmara principal.

Este artigo tem como objetivo apresentar uma metodologia de conservação aplicada a objetos de design científico contemporâneo, utilizando *Fertility Object* de Susana Soares como um caso de estudo exemplar. Através da análise integrada da materialidade, da função, da comunicação e dos valores associados ao objeto, propõe-se um modelo de tomada de decisão que articula o estudo técnico, documentação e diálogo interdisciplinar. Embora ancorada num caso específico, a abordagem apresentada visa ser transferível para a conservação de outros objetos híbridos, em que o design, a ciência e a interação desafiam os limites das práticas convencionais de conservação.

Contexto e enquadramento do caso de estudo

Susana Soares e o projeto BEE'S

Nascida em Lisboa, Portugal, em 1977, Susana Soares é uma designer cujo trabalho transcende as fronteiras entre o design e a ciência. A sua prática visa explorar as implicações do redesenho tecnológico da natureza para o campo do design. O seu trabalho foi exposto em instituições como o Museum of Modern Art (MoMA) em Nova Iorque e o National Museum of Modern Art (MOMAK), em Kyoto. Atualmente, foca-se na exploração de como sistemas vivos redesenhados podem informar novas abordagens no design [2]. Além do projeto BEE'S, Soares desenvolveu outros projetos inovadores, como *URPFLANZE* (2013) e *INSECTS AU GRATIN* (2011), que exemplificam o seu compromisso em explorar as interseções entre design, ciência e natureza [2].

A peça BEE'S integra uma coleção composta por quatro peças fundadoras de um projeto pioneiro iniciado em 2007 e com fim em 2009. Projetado por Susana Soares, o projeto intitulado BEE'S visa explorar o potencial dos sistemas biológicos naturais, otimizando a pesquisa tecnológica da época em sistemas e objetos compreensíveis e utilitários para o público, promovendo mudanças nos paradigmas de interação entre humanos e animais. A investigação inicial foi realizada pela Inscentinel (empresa britânica com sede na Estação Experimental de Rothamsted, em Hertfordshire, especializados no desenvolvimento de tecnologias de olfato de insetos), em colaboração com a Escola de Higiene e Medicina Tropical de Londres, focando a capacidade olfativa das abelhas, que utilizam esse sentido para comunicar e detetar doenças [1, 3]. Os investigadores utilizaram o princípio do reflexo de Pavlov, fazendo com que as abelhas fossem treinadas para reconhecer odores, sendo recompensadas com uma solução de água e açúcar. As abelhas, uma vez treinadas, eram monitorizadas numa caixa, onde um odor específico era apresentado, levando-as a exibir o reflexo de colocar a língua para fora ao reconhecê-lo [4]. O projeto contou com a colaboração de várias entidades, incluindo a Fundação Calouste Gulbenkian e o Royal College of Art, com o Professor Anthony Dunne e Ms. Fiona Raby. A empresa Crisform (atualmente CENCAL), com a Designer Sónia Durães e o mestre de vidro Mateus (mestre vidreiro na empresa vidreira atualmente extinta, CRISFORM, na Marinha Grande), foi fundamental na produção das peças, assim como a empresa Vilabo, responsável pelo vidro borossilicato. Cada objeto deste projeto foi criado para potenciar a incrível capacidade olfativa das abelhas, que, sendo cerca de dez milhões de vezes mais sensíveis que os humanos, conseguem detetar uma vasta gama de substâncias químicas e biomarcadores de saúde.

Para o projeto, Susana Soares escolheu o vidro, pela sua flexibilidade e transparência, permitindo a observação do comportamento dos insetos durante a avaliação do sopro. Segundo Soares, "tudo depende de observar como as abelhas se comportam" para obter os resultados desejados [5]. As peças da coleção são feitas de dois tipos de vidro: silicatado sodo-cálcico e borossilicato. Cada peça possui duas câmaras: uma menor para o diagnóstico e uma maior onde as abelhas treinadas são mantidas. Os utilizadores sopram na câmara menor, e as abelhas dirigem-se a ela ao identificarem o odor para o qual foram treinadas. Após desempenharem o seu papel na deteção e diagnóstico, retornam à colmeia, desempenhando seu papel na deteção e diagnóstico [4].

Objeto *Fertility Object*

A peça em análise, intitulada *Fertility Object* é esférica com duas entradas e saídas de ar, feita em vidro borossilicato transparente e incolor (segundo informação constante no site do projeto) e foi concebida com o propósito de facilitar a monitorização do ciclo de fertilidade das mulheres, através do olfato, das abelhas e do sopro da mulher, conforme explicado na secção dedicada ao projeto BEE'S. O design da câmara menor não só é funcional, mas também conceptual, representando os três diferentes estágios do ciclo menstrual. A bolha maior corresponde à ovulação, a segunda bolha à fase pré-ovulatória e a terceira à fase pós-ovulatória. Numa entrevista, Susana Soares explicou que as abelhas voam em direção à bolha correspondente à fase em que a mulher se encontra, e quanto mais próxima da bolha maior estiver, maior a probabilidade de a mulher estar na fase de ovulação [1, 4]. *Fertility Object* exemplifica o design centrado no utilizador ao oferecer uma forma natural e não invasiva de monitorizar a fertilidade feminina, mas também um design centrado no conforto das abelhas, integrando ciência, natureza e interação para criar uma solução inovadora e significativa.

Os desafios de *Fertility Object* para a conservação

Os desafios associados a *Fertility Object* estendem-se desde a sua função até à sua exposição. O MUDE adquiriu a peça para representar uma vertente do design português ainda pouco presente na coleção e, de modo mais amplo, no panorama internacional: o design científico. No momento da aquisição, observaram-se depósitos e escorrências brancos, alaranjados e manchas, possivelmente resultantes de tentativas de limpeza do sopro ou da interação com as abelhas (Figura 3). Estas alterações não foram produzidas já no museu, mas o histórico de uso e a proveniência da peça permaneciam desconhecidos até à data. Embora, à partida, a equipa do MUDE considerasse necessária a remoção das manchas para assegurar uma leitura estética mais coerente, não existia documentação que esclarecesse a posição da designer relativamente a uma eventual intervenção.

Outro desafio prendeu-se com o carácter funcional da peça, concebida para ser utilizada e soprada. Essa dimensão performativa levantou questões quanto à necessidade de limpeza recorrente e à inexistência de protocolos que garantissem a segurança do utilizador e a estabilidade material do vidro. A conjugação de função, fragilidade e ausência de documentação técnica colocou o conservador perante decisões complexas, que exigiram ponderar não só a integridade física, mas também a coerência conceptual do objeto.

Neste contexto, a avaliação dos valores associados a *Fertility Object* — estéticos, funcionais, científicos e museológicos — tornou-se essencial para fundamentar futuras decisões de conservação e exposição. Tal como referido por Appelbaum [6], a definição do “estado ideal” de conservação deve equilibrar integridade material e significado, estabelecendo a base para intervenções que respeitem tanto a autenticidade física como a intenção de uso. No caso presente, essa avaliação deverá resultar de um diálogo colaborativo entre a designer, o museu e a equipa de conservação, de modo a garantir que a peça mantém a sua integridade e continua a expressar a relação entre design, biotecnologia e interação humana.

O vidro e os agentes de deterioração água e humidade relativa incorreta

A retenção de humidade resultante do sopro para o interior da peça é o fator crítico que justifica a intervenção, uma vez que a presença de água, aliada a um ambiente confinado, tem o potencial de desencadear mecanismos de degradação química. Embora a estrutura do vidro seja uma rede de dióxido de silício, a presença de iões alcalinos e espaços vazios na rede vítrea permite a difusão da água e a ocorrência de reações com o ambiente [7-10].

O principal mecanismo de alteração inicial é a lixiviação: uma troca iónica onde iões alcalinos (como o sódio, Na⁺) são extraídos da superfície da rede e substituídos por iões de hidrogénio da água [10-15]. Este processo, dependente da humidade relativa, pode evoluir para

fenómenos de *crizzling*, se o pH do meio for alterado [16-19]. Se a acumulação de iões alcalinos lixiviados se concentrar e elevar o pH para valores superiores a 9, o mecanismo altera-se para uma dissolução da rede de sílica, destruindo a estrutura do vidro [7, 9, 20-21].

No caso do vidro de borossilicato, estes possuem um sistema $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$. Este sistema tem várias zonas composicionais onde ocorrem separações de fases, que foram exploradas por marcas produtoras conhecidas, tais como a Duran e a Pyrex [22, p. 112]. A utilização deste tipo de vidros está relacionada com a elevada estabilidade química destas formulações, especialmente resistente a ácidos, por exemplo. Outra característica conhecida destes vidros é a sua elevada resistência a alterações bruscas e significativas de temperatura, que se deve ao seu baixo coeficiente de dilatação [22, p. 113]. A presença de B_2O_3 aumenta a coesão da rede vítrea através da formação dos tetraedros de $[\text{BO}]_4$, assim como a ocorrência de separação de fases aquando da fusão do vidro [22, p. 548]. Apesar de, teoricamente poderem sofrer degradação química tal como acima descrito, os vidros de borossilicato são conhecidos pela sua resistência química, reforçando assim, neste caso de estudo, a importância das forças físicas como principal agente de degradação a ter em consideração.

No entanto, apesar do que é descrito anteriormente, para o caso do objeto em estudo, a condensação interna gerada pela respiração pode iniciar a lixiviação e aumentar o pH, podendo vir a favorecer a dissolução da rede vítrea. Embora o vidro borossilicato apresente elevada estabilidade química, a literatura sobre a sua conservação é escassa [22, pp. 109, 135, 559; 23, pp. 93-104; 24-25] e a limpeza de peças com geometrias complexas permanece um desafio prático, tema explorado na secção seguinte.

Metodologia

A metodologia adotada baseou-se numa abordagem interdisciplinar, articulando práticas e princípios da conservação e restauro, ciência dos materiais, design e curadoria museológica. Esta integração permitiu abordar a peça *Fertility Object* na sua dupla dimensão tangível e intangível, conciliando o estudo da sua estabilidade física em vidro borossilicato com a compreensão da sua função original e do seu valor para as diferentes partes interessadas. O trabalho estruturou-se em cinco etapas principais: (1) levantamento bibliográfico; (2) documentação e análise visual do objeto; (3) caracterização material; (4) avaliação de estratégias de limpeza; e (5) diálogo interdisciplinar e definição curatorial.

Levantamento bibliográfico

Foi realizado um levantamento sistemático da literatura técnica e científica sobre a composição e degradação do vidro, com especial enfoque no vidro borossilicato, bem como sobre métodos de limpeza aplicáveis a vidros e estratégias curatoriais de comunicação de objetos híbridos entre design e ciência. Esta revisão permitiu estabelecer um estado da arte que fundamentou a análise da peça, a definição dos ensaios experimentais e a discussão crítica dos resultados, evidenciando a escassez de referências específicas para objetos de geometria complexa e função interativa.

Documentação e análise do objeto

Realizou-se a recolha e sistematização de informação histórica, técnica e conceptual sobre a peça *Fertility Object* e o projeto *BEE'S*. Foram conduzidas entrevistas semiestruturadas à designer Susana Soares, permitindo esclarecer a intenção da autora, o contexto de criação e a sua posição quanto à limpeza, exposição e função da peça, em colaboração com a instituição proprietária (MUDE). Foram também conduzidas conversas telefónicas com a fábrica vidreira Vilabo para se obterem informações sobre o processo de produção das peças e o tipo de vidro utilizado.

Procedeu-se igualmente à documentação fotográfica e descritiva do estado de conservação. Este levantamento constituiu a base para a definição das ações subseqüentes.

Caracterização material

A caracterização da peça incluiu a determinação da composição do vidro e a análise dos depósitos superficiais. A composição foi avaliada por espectroscopia de fluorescência de raios X por dispersão de energia (μ -EDXRF), comparando-se os resultados com amostras de vidro borossilicato da marca DURAN. Os depósitos brancos foram analisados por microscopia ótica, espectroscopia de infravermelho (FTIR) e espectroscopia Raman [26]. O equipamento utilizado e as condições analíticas podem ser consultadas na publicação de Damas [26].

Avaliação de estratégias de limpeza

Os métodos de limpeza foram testados em objetos de formato semelhante, de modo a avaliar diferentes técnicas de acesso e eficácia. A análise considerou seis parâmetros — eficácia na remoção de sujidade, tempo de secagem, facilidade de uso, adaptação à geometria, duração e resíduos deixados — avaliados numa escala de 0 (nada eficaz desempenho) a 5 (muito eficaz). Foram ensaiados arames revestidos com Melinex, Parafilm e algodão, palhinhas comerciais, ímanes com Parafilm e papel e limpa-cachimbo. Os agentes líquidos de limpeza selecionados para teste seguiram uma sequência de solventes por ordem crescente de polaridade e toxicidade — água destilada e, quando necessário, solução 50:50 de água e etanol.

Diálogo interdisciplinar e definição curatorial

A tomada de decisão foi conduzida num processo colaborativo entre a designer, a equipa de conservação e a equipa do MUDE, integrando diferentes perspetivas sobre a integridade física, funcional e comunicacional do objeto.

Complementarmente, analisaram-se exposições anteriores dos protótipos da coleção *BEE's* (Science Gallery Dublin, MoMA) e referências bibliográficas sobre estratégias curatoriais em design e ciência, que sustentaram o desenvolvimento de uma proposta de exposição adaptada ao contexto museológico português.

A metodologia combinou assim investigação científica, experimentação técnica e reflexão ética, resultando num processo que assegura simultaneamente a integridade física, a autenticidade funcional e a legibilidade conceptual do *Fertility Object*, evidenciando o potencial da colaboração interdisciplinar na conservação do design contemporâneo.

Estratégias de limpeza de objetos em vidro com formas complexas

A literatura sobre a limpeza de vidro é vasta para vidros arqueológicos, como os silicatos potássico-cálcicos, mas revela uma lacuna significativa no estudo de objetos em vidro de borossilicato, sobretudo com geometrias complexas e de acesso limitado ao interior [27].

Koob [27] destaca que a sujidade superficial, resultante de manuseio, gordura e poluição, compromete não só a estética, mas também acelera a deterioração. Para a sua remoção, recomendam-se métodos simples, como pincéis suaves, panos macios ou lavagem cuidadosa com água. A utilização de água destilada ou desionizada evita a introdução de minerais que possam danificar a superfície. A temperatura deve ser controlada, evitando detergentes que deixem resíduos prejudiciais. A secagem deve ser lenta e sem calor, preservando a integridade do material [28].

As diretrizes do CCI indicam a avaliação prévia do estado de conservação antes de qualquer intervenção. Na ausência de sinais de degradação, como *crizzling*, recomenda-se uma lavagem suave com água morna e até 5 % de etanol como agente umectante [28].

Para fundamentar um protocolo específico para *Fertility Object*, foram identificados apenas dois estudos relevantes, evidenciando a escassez de referências para objetos de formas ocas e complexas. O primeiro, descrito por Margot Murray, aborda o tratamento da peça Branch de Richard Meitner no Projeto de Conservação de Vidro Dan Klein, dos Museus Nacionais da Escócia. A obra, composta por um cálice amarelo suspenso no interior de uma garrafa, exigiu

técnicas criativas: pinças de aquário adaptadas com silicone, manipulação inspirada em cirurgia laparoscópica e marionetas, e aplicação de adesivo com seringa modificada, preservando a integridade da garrafa sem recorrer ao corte da base [29].

O segundo estudo, de Rothenhäusler, Cilurzo e Keller, no Museu Nacional Suíço, focou a limpeza e a secagem de garrafas históricas. Após a lavagem com panos de microfibra e água desionizada, a remoção de resíduos internos foi realizada com ímanes, um método que se revelou eficaz para eliminar sujidade e sais cristalizados [30, p. 288].

Estes casos demonstram a importância da adaptação técnica e da inovação na conservação de vidros de formas complexas, reforçando a necessidade de investigação e desenvolvimento contínuo de métodos seguros para a preservação do património contemporâneo.

Estratégias curatoriais para objetos interdisciplinares: comunicação de peças que combinam design e ciência

A musealização da interseção entre design, ciência e saúde tem vindo a consolidar-se em exposições recentes de relevo internacional. Entre estas, destacam-se *Design + Saúde* (MuVIM, Valência, 2022), que explorou como o design impulsiona o bem-estar e a evolução médica [31]; *Human+: The Future of Our Species* (Science Gallery Dublin/CCCB), que recorreu a dispositivos interativos para discutir a biotecnologia e o melhoramento humano [32-33]; e as exposições *Can Graphic Design Save Your Life?* (Wellcome Collection, 7 Setembro 2017 a 14 Janeiro 2018) e *The Future Starts Here* (V&A, Londres, 12 Maio 2018 a 4 Novembro 2018), que utilizaram ambientes imersivos para demonstrar o impacto do design na saúde pública [34-35].

Estas mostras evidenciam que a eficácia da comunicação destes objetos reside no equilíbrio entre a sua apreciação estética e a descodificação da sua narrativa funcional. Contudo, quando objetos interdisciplinares são integrados em coleções museológicas, surge frequentemente um hiato entre a sua forma e a complexidade do seu propósito científico original. Se a estratégia curatorial privilegiar exclusivamente a plasticidade do objeto, corre-se o risco de "silenciar" a sua dimensão performativa, tornando-o num artefacto mudo perante o público.

Esta problemática é visível no histórico expositivo do projeto *BEE'S*. Embora vários protótipos tenham sido apresentados em *INFECTIOUS: Stay Away* (Science Gallery Dublin, 2009) acompanhados por um vídeo explicativo [37-38], e em *Design and the Elastic Mind* (MoMA, Nova Iorque, 24 Fevereiro a 12 Maio 2008), onde a peça foi exposta num púlpito baixo desprovido de recursos visuais complementares [39], em ambos os casos a escassez de informação contextual limitou a compreensão do valor diagnóstico dos objetos.

Para mitigar este risco em futuras curadorias, a proposta ideal deve transcender a contemplação passiva. É fundamental combinar uma sinalética científica clara com elementos visuais — como infografias do fluxo biológico ou registos da performance original — e, idealmente, experiências imersivas ou táticas que permitam ao visitante apreender a função inovadora e a interatividade inerente à peça, preservando assim a sua integridade conceptual enquanto objeto de design científico.

Resposta aos desafios de *Fertility Object*

Os principais desafios apresentados por *Fertility Object* que este estudo procurou responder concentram-se na definição de estratégias de limpeza das manchas presentes no vidro e no desenvolvimento de propostas de exposição, que requereram um reconhecimento dos valores associados a este objeto, por diferentes agentes em torno do objeto.

Valores e tomada de decisão

Qualquer decisão de intervenção ou exposição requer compreender os valores associados ao objeto. A metodologia apresentada em [36] destaca a necessidade de considerar o valor atribuído pela autora, pela comunidade, pelo museu e pela ciência. Para Susana Soares, criadora da peça, e segundo o seu testemunho, o valor deverá residir na inovação do design aplicado à investigação científica: uma síntese de design e biotecnologia que explora a interseção entre tecnologia e corpo humano, devendo essa dimensão ser comunicada ao público [36]. O objeto, entre muitas vertentes, pode vir a estimular reflexões sobre práticas sustentáveis e o papel da biotecnologia na saúde e fertilidade, funcionando como catalisador de debates éticos e ambientais. Para o MUDE, e com base no testemunho de Inês Correia (responsável pela área da conservação), a relevância está na singularidade e no potencial de atrair e envolver visitantes, reforçando a missão educativa e diversificando a coleção ao mostrar que o design ultrapassa o valor estético. Para a ciência, a peça representa um marco em diagnósticos não invasivos, utilizando abelhas para detetar alterações químicas no hálito humano.

Segundo Appelbaum [6, pp. xix-xxi], o processo de tomada de decisão segue oito etapas, das quais este estudo se concentra na determinação do “estado ideal”, base para a meta de tratamento — limpeza, acondicionamento e proposta de exposição. De acordo com a autora, o “estado ideal” corresponde ao passado mais significativo para os atuais proprietários [6, pp. 173-236]. No caso de *Fertility Object*, é necessário equilibrar integridade física, autenticidade funcional e clareza interpretativa. A decisão final deve resultar de diálogo colaborativo entre designer, museu e conservadores, garantindo que a peça preserve sua integridade e continue a provocar debate sobre inovação, biotecnologia e ética [6].

Os desafios colocados por *Fertility Object* não se situam em oposição aos da conservação de arte contemporânea interativa, mas antes aprofundam algumas das suas problemáticas centrais. A presença de uma função diagnóstica, associada a uso corporal e a vestígios funcionais, exige uma leitura alargada dos modelos de tomada de decisão existentes, particularmente no que respeita à definição do “estado ideal” e à gestão de valores concorrentes. Estas questões tornam-se particularmente evidentes no contexto expositivo, onde a necessidade de comunicar a função e o significado do objeto entra em tensão com os requisitos de preservação material, orientando diretamente as opções curatoriais e de conservação discutidas na secção seguinte.

Exposição

Um dos principais desafios colocados pelo MUDE consistiu em desenvolver uma estrutura lógica de exposição do *Fertility Object*, considerando a sua complexidade. Para tal, foi necessário atender simultaneamente à preservação da peça e à manutenção da sua função primordial de diagnóstico.

Recolheu-se informação qualitativa através de entrevistas à designer Susana Soares e da colaboração com a conservadora do MUDE, Inês Correia. Este diálogo forneceu dados fundamentais sobre a intenção original da designer, os requisitos funcionais da peça e os cuidados preventivos exigidos em ambientes museológicos. Adicionalmente, analisaram-se imagens e registos de exposições anteriores dos protótipos do *Fertility Object*, permitindo uma avaliação crítica dessas experiências e a definição de melhores práticas de comunicação com o público.

A análise das condições físicas da peça revelou que as forças mecânicas constituem a principal ameaça à integridade do vidro, agravadas pela humidade associada à sua utilização. Assim, a proposta de exposição teve como eixo central o equilíbrio entre a mitigação desses riscos e a necessidade de interação do público para assegurar a correta comunicação da peça, preservando tanto o valor funcional como a durabilidade do objeto.

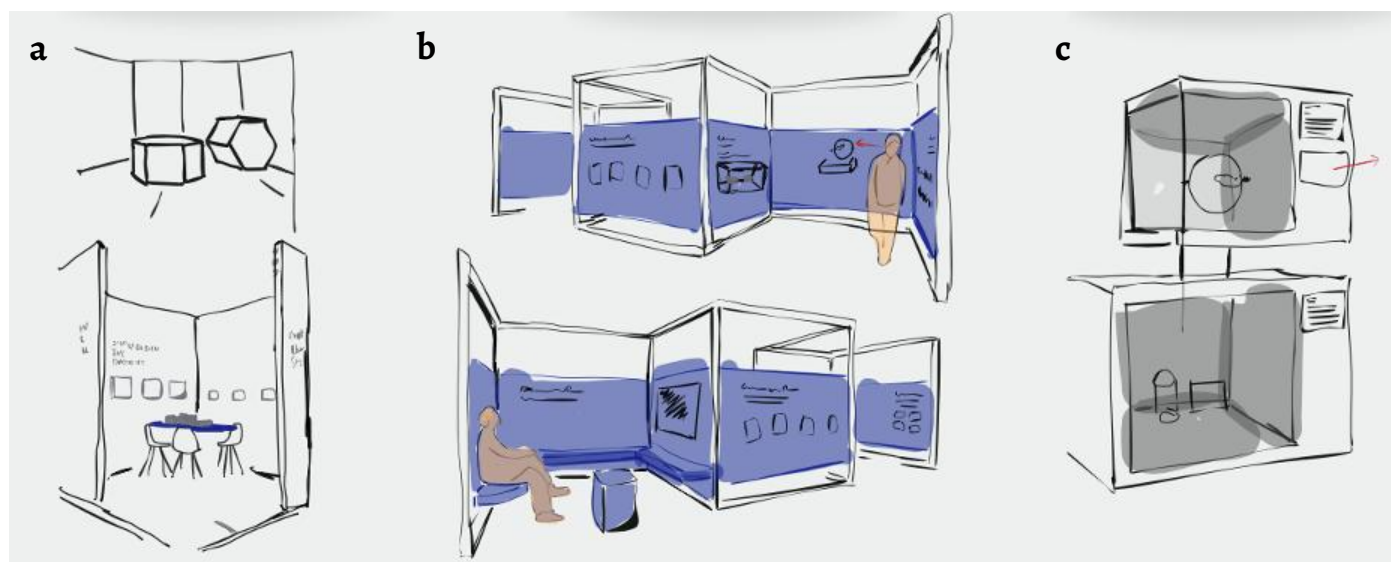


Figura 4. Diferentes propostas expositivas concebidas para *Fertility Object*: a) expositiva que se assemelha a um consultório médico (espaço performativo); b) representa o conceito do objeto por fases e módulos (estrutura modular); c) vitrine de fundo escuro à altura dos olhos do espectador, com o objeto exposto e com texto explicativo sobre o mesmo (proposta simplificada).

Na definição da proposta expositiva foram consideradas três perspetivas: a da instituição proprietária (MUDE), a da designer Susana Soares e a da conservação. Susana Soares sublinhou que a peça foi concebida como peça de diagnóstico, a ser manuseada por humanos e abelhas, nunca com intenção de musealização. Considerou que a sua exposição em museu compromete a função inicial, transformando-a em objeto estático: “Esta peça não é para colocar flores, não é decorativa. (...) perde muito da função e da interação para que foi desenhada”. Ainda assim, reconheceu o potencial de despertar curiosidade e promover novas leituras sobre o design. O MUDE, por seu lado, enfatizou a importância de comunicar o conceito e a função da peça em conformidade com a intenção da criadora.

As restrições impostas pela conservação descartaram qualquer interação direta, conduzindo ao desenvolvimento de três propostas (Figura 4). A primeira propunha um espaço performativo que remetesse a um consultório médico, integrando vídeos, objetos auxiliares e a peça em vitrine. A segunda organizava-se em módulos que refletiam as fases do *Fertility Object* (recolha, treino, diagnóstico), complementados com textos e vídeos. A terceira, adaptada aos recursos do museu, previa a exposição da peça numa vitrine suspensa com fundo escuro, iluminação inferior e fixação com um adesivo acrílico de elevada estabilidade (Paraloid B72), acompanhada de objetos auxiliares, vídeos e textos informativos.

Este processo colaborativo permitiu criar soluções que, embora não resolvessem todas as tensões entre uso, conservação e exposição, procuraram um equilíbrio entre valor funcional, preservação e acessibilidade ao público, evidenciando a relevância de uma abordagem interdisciplinar à curadoria. Esta síntese evidencia como a intervenção em *Fertility Object* envolveu análise científica, avaliação de valores culturais e decisões colaborativas. A abordagem integrou a investigação química, critérios de conservação e diálogo entre a designer e o museu para garantir que a peça preserve simultaneamente a sua integridade física, a autenticidade funcional e o seu papel como catalisador de debate sobre inovação, biotecnologia e ética.

Limpeza e acondicionamento de *Fertility Object*

Com base nas metodologias de limpeza testadas, concluiu-se que o limpa-cachimbo mostrou boa adaptação, mas deixou resíduos; os arames revestidos apresentaram eficiência variável entre base e laterais; a palhinha revestida destacou-se de forma positiva na base, mas foi menos eficaz nas zonas curvas; e os ímanes revestidos, revelaram-se altamente eficazes e não abrasivos, embora exigissem substituição frequente do papel. Na Figura 5 apresentam-se os

resultados das diferentes estratégias de limpeza onde se avaliou cada método numa escala de 0 (pior desempenho) a 5 (desempenho muito bom). Para o interior, utilizou-se pinça revestida em Parafilm para remoção controlada.

A proposta final combinou ímanes para a câmara maior e materiais mais maleáveis para a câmara menor (Figura 6). A limpeza iniciou-se com água destilada e evoluiu para solução 50:50 de água e etanol quando necessário.

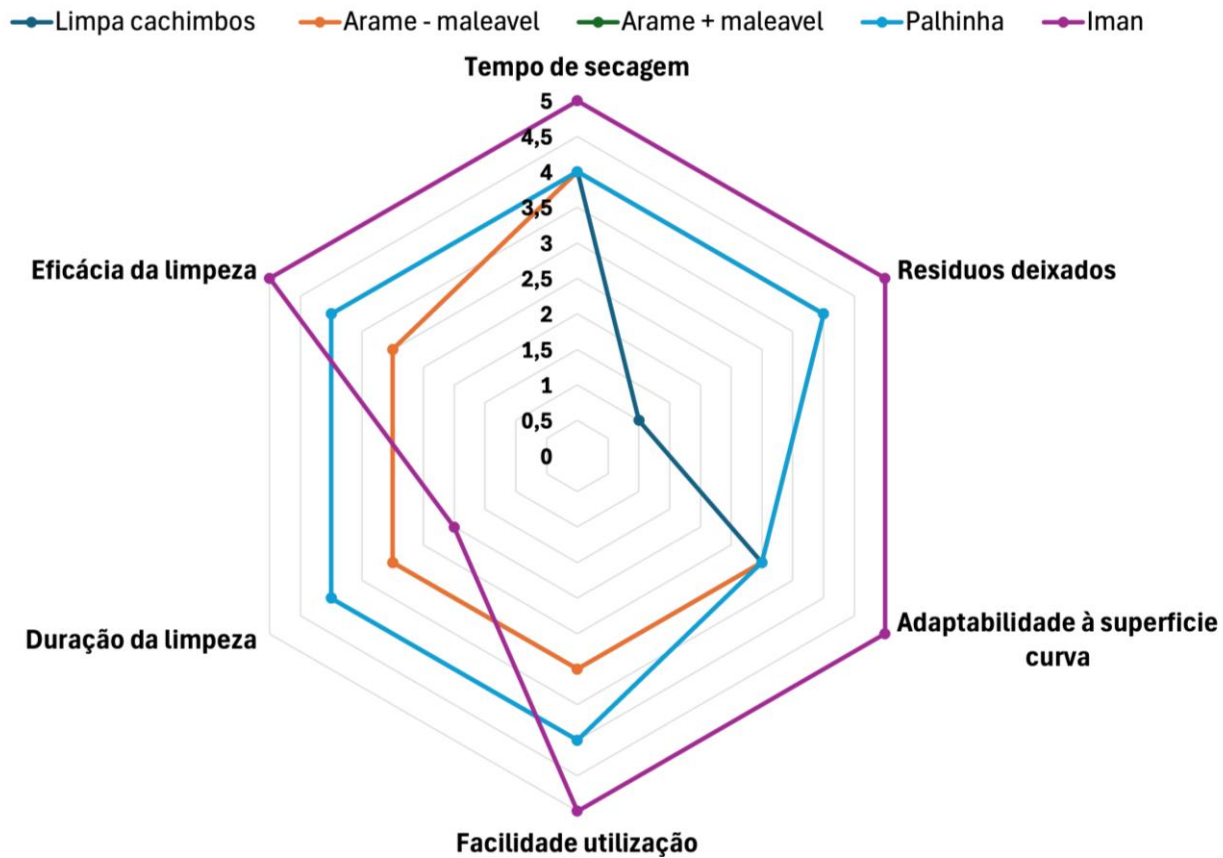


Figura 5. Gráfico radar para avaliação das diferentes estratégias de limpeza.

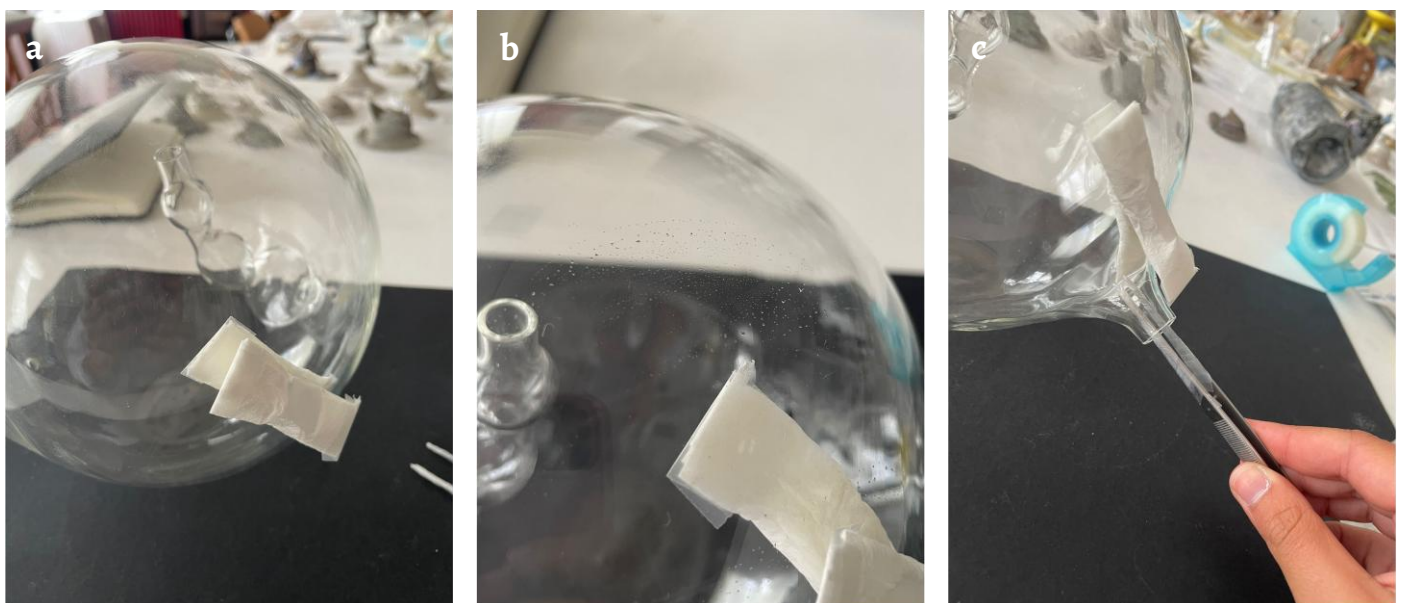


Figura 6. Intervenção de limpeza realizada a *Fertility Object*: a-c) a limpeza foi realizada com recurso a ímanes magnéticos revestidos a papel; foi utilizada uma solução de 50:50 de água e etanol para auxiliar na remoção das manchas identificadas para limpeza.

Como nem a designer nem o museu puderam esclarecer a origem dos depósitos brancos, procedeu-se à sua caracterização química para evitar a remoção de vestígios significativos. A microscopia ótica em campo escuro e sob luz UV revelou partículas vermelhas e azuis (Figura 7), sugerindo resíduos de produtos de limpeza. Por FTIR foram identificadas bandas características de carbonatos e sulfatos, nomeadamente carbonato e de sulfato de cálcio [26, 37-39]. Uma banda entre $3500\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$ indicou grupos hidroxilo, associados a sais hidratados, confirmando o carácter higroscópico dos depósitos, que aumentam assim o risco de degradação do vidro [38]. A espectroscopia Raman identificou a fase anátase do dióxido de titânio, com propriedades fotocatalíticas amplamente exploradas em produtos de limpeza [26, 40-42]. Estes resultados, aliados à presença de partículas coloridas, sugerem resíduos de detergentes domésticos, possivelmente aplicados após o uso do objeto para remover vestígios de abelhas ou de condensação. A decisão final foi a remoção dos depósitos.

Durante a intervenção, observaram-se depósitos escuros castanho-alaranjados na câmara menor. A análise estereomicroscópica e a entrevista com a designer indicaram que poderão corresponder a dejetos de abelhas, resultantes do uso original da peça. Em colaboração com o MUDE decidiu-se preservá-los, pois não comprometiam a leitura do objeto, possuíam valor histórico e não se previa que viessem a interferir com a estabilidade do vidro a longo prazo.

A necessidade de um novo método de acondicionamento (Figura 8) levou ao uso de uma caixa transparente de polietileno de alta densidade ($36 \times 42 \times 35\text{ cm}$), de qualidade alimentar, com fecho lateral e pegas, equipada com espumas de polietileno numeradas e revestidas com folha de espuma de polietileno, seguindo as diretrizes do Corning Museum of Glass [43]. Algumas espumas foram escavadas para encaixe seguro, mantendo uma margem de proteção. A placa central foi seccionada para facilitar a remoção e a caixa recebeu identificação para reserva e transporte.

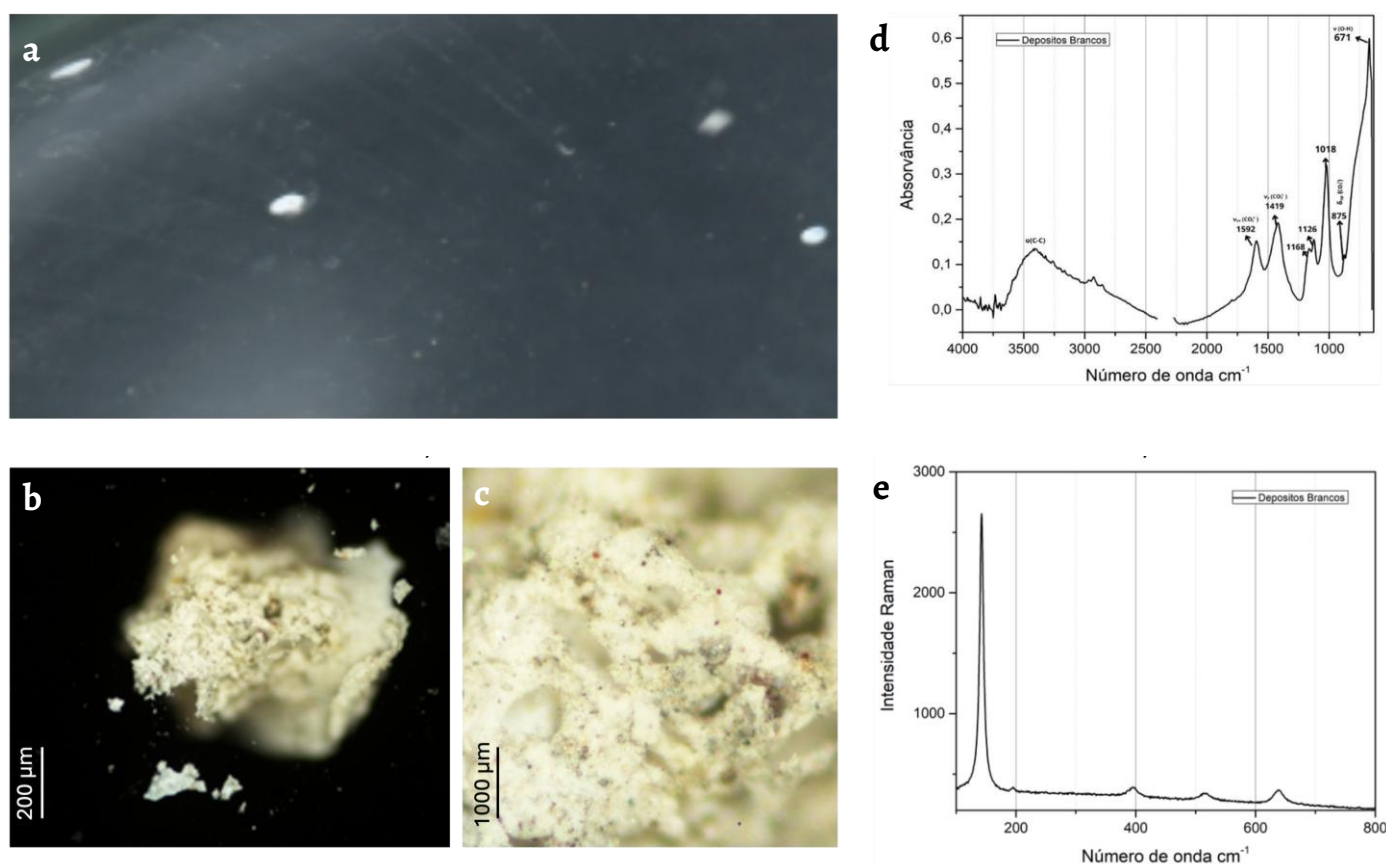


Figura 7. Partículas brancas identificadas no interior da câmara principal do objeto: *a*) pormenor; *b-c*) imagens de estereomicroscópio de uma das partículas removida do interior do objeto; *d*) análise de FTIR permitiu identificar a presença de carbonatos e sulfatos; *e*) análise de espectrometria Raman permitiu identificar a presença de dióxido de titânio ou anatase.



Figura 8. Caixa de acondicionamento preparada para o objeto, com interior adaptado à forma do mesmo.

Conclusões

O presente estudo abordou a conservação da peça em vidro *Fertility Object*, cujo objetivo principal consiste em diagnosticar a fase do ciclo de fertilidade através da interação com abelhas. Este objeto apresenta desafios complexos ao nível da sua função, conservação e exposição.

Para responder a estes desafios, foi fundamental um diálogo constante entre as partes interessadas, incluindo a designer, a instituição museológica e os conservadores. Este debate permitiu o desenvolvimento de estratégias eficazes, equilibrando a preservação da integridade do objeto com a comunicação correta da sua funcionalidade e do seu valor cultural e científico.

A avaliação das diferentes estratégias de limpeza evidenciou a importância de adaptar os métodos de intervenção às especificidades da peça. No caso em estudo, os ímanes revelaram-se o material mais adequado para a limpeza do interior, permitindo um acesso seguro, embora exigissem a substituição frequente do papel de limpeza, o que representou um desafio adicional.

As propostas de exposição foram desenvolvidas em colaboração entre os autores, a designer e a instituição proprietária. A discussão destas soluções demonstrou a necessidade de inovação na apresentação da peça, explorando recursos interativos, mas sempre garantindo a proteção e a integridade física do objeto.

Para além do caso específico de *Fertility Object*, a metodologia desenvolvida neste estudo apresenta potencial de aplicação a outros objetos contemporâneos que combinam design, ciência, função e interação. A sua utilização em diferentes contextos museológicos pode apoiar processos de decisão mais informados e transparentes, particularmente em situações em que a musealização transforma ou suspende a função original do objeto. Ao integrar caracterização material, avaliação de valores, experimentação técnica e diálogo interdisciplinar, esta abordagem contribui para práticas de conservação mais reflexivas e consistentes, reforçando o papel do conservador como mediador entre preservação material, significado e comunicação.

Um dos principais desafios enfrentados ao longo da investigação foi a escassez de bibliografia sobre peças contemporâneas com características semelhantes a *Fertility Object*. Esta lacuna demonstra que o campo carece de estudos e referências que abordem a complexidade inerente à conservação de obras ou objetos com funções específicas e interação humana. A ausência de informação exigiu uma abordagem mais experimental, sobretudo no que diz respeito à limpeza de peças com estruturas complexas.

Em trabalhos futuros, é essencial expandir a investigação para incluir mais estudos de caso como *Fertility Object*, que apresentam funções específicas e dependem da interação humana. A

falta de referências existentes sublinha a necessidade urgente de explorar e documentar este tipo de objetos, criando diretrizes e metodologias que considerem as suas particularidades e contribuam para uma base de conhecimento mais sólida e aplicável à conservação da arte e design contemporâneos.

Agradecimentos

As autoras gostariam de agradecer em primeiro lugar à instituição Museu do Design (MUDE), pela disponibilização o objeto para estudo, em especial à Doutora Inês Correia, pelas entrevistas que permitiram discutir e conceber a exposição deste objeto no museu. Um agradecimento muito especial à designer Susana Soares pela total disponibilidade e abertura para falar sobre o seu projeto e pelas várias entrevistas concedidas e que foram fundamentais para delinear o trabalho realizado. Esta investigação foi financiada por fundos nacionais através da FCT-Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., através dos financiamentos UIDB/00729/2020, UIDP/00729/2020 com DOI <https://doi.org/10.54499/UID/00729/2025>, LA/P/0140/2020 e dos projetos UID/50006/2025, UID/PRR/50006/2025 e LA/P/0008/2020 do Laboratório Associado para a Química Verde - LAQV REQUIMTE (<https://doi.org/10.54499/UID/50006/2025>, <https://doi.org/10.54499/UID/PRR/50006/2025> e <https://doi.org/10.54499/LA/P/0008/2020>).

REFERÊNCIAS

- Soares, S., 'BEE'S - Project Development', in *Susana Soares*, <http://www.susanasoares.com/index.php?id=53> (acesso em 2026-07-13).
- Soares, S., *Susana Soares*, <http://www.susanasoares.com/index.php?id=5> (acesso em 2026-07-13).
- Borgobello, B., 'Glass diagnostic tools use honey bees to sniff out cancer', in *Refractor*, <https://newatlas.com/bees-project-susana-soares/29981/> (acesso em 2026-07-13).
- Soares, S., 'BEE'S - Research', in *Susana Soares*, <http://www.susanasoares.com/index.php?id=54> (acesso em 2026-07-13).
- Nguyen, T., 'Can Bees Be Trained to Sniff Out Cancer?', in *Smithsonian Magazine Online* (13 Dezembro 2013) <https://www.smithsonianmag.com/innovation/can-bees-be-trained-to-sniff-out-cancer-180948269/> (acesso em 2026-07-13).
- Barbara. A., *Conservation treatment methodology*, Butterworth-Heinemann, Oxford (2011).
- Majérus, O.; Lehuédé, P.; Biron, I.; Alloteau, F.; Narayanasamy, S.; D. Caurant, 'Glass alteration in atmospheric conditions: crossing perspectives from cultural heritage, glass industry, and nuclear waste management', *Npj Materials Degradation* **4** (2020) 27, <https://doi.org/10.1038/s41529-020-00130-9>.
- Henderson, G. S., 'The structure of silicate melts: a glass perspective', *The Canadian Mineralogist* **43**(6) (2005) 1921-1958, <https://doi.org/10.2113/gscanmin.43.6.1921>.
- Kunicki-Goldfinger, J. J., 'Unstable historic glass: symptoms, causes, mechanisms and conservation', *Studies in Conservation* **53** (2008) 47-60, <https://doi.org/10.1179/sic.2008.53.Supplement-2.47>.
- Zanini, R.; Franceschin, G.; Cattaruzza, E.; Traviglia, A., 'A review of glass corrosion: the unique contribution of studying ancient glass to validate glass alteration models', *Npj Materials Degradation* **7** (2023) 38, <https://doi.org/10.1038/s41529-023-00355-4>.
- Bunker, B. C., 'Molecular mechanisms for corrosion of silica and silicate glasses', *Journal of Non-Crystalline Solids* **179** (1994) 300-308, [https://doi.org/10.1016/0022-3093\(94\)90708-0](https://doi.org/10.1016/0022-3093(94)90708-0).
- Jantzen, C. M.; Plodinec, M. J., 'Thermodynamic model of natural, medieval and nuclear waste glass durability', *Journal of Non-Crystalline Solids* **67**(1-3) (1984) 207-223, [https://doi.org/10.1016/0022-3093\(84\)90151-0](https://doi.org/10.1016/0022-3093(84)90151-0).
- Rodrigues, A. J., *The glass collection of Ferdinand II in Museu Nacional de Arte Antiga: study and preservation*, Dissertação de Doutoramento, Departamento de Conservação e Restauro, Universidade NOVA de Lisboa, Monte da Caparica (2018).
- Rodrigues, A.; Fearn, S.; Palomar, T.; Vilarigues, M., 'Early stages of surface alteration of soda-rich-silicate glasses in the museum environment', *Corrosion Science* **143** (2018) 362-375, <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.08.012>.
- Vilarigues, M.; Redol, P.; Machado, A.; Rodrigues, P. A.; Alves, L. C.; Silva, R. C. Da, 'Corrosion of 15th and early 16th century stained glass from the monastery of Batalha studied with external ion beam', *Materials Characterization* **62**(2) (2011) 211-217, <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2010.12.001>.
- Koob, S., 'Crizzling glasses: problems and solutions', *European journal of glass science and technology. Part A, Glass technology* **53**(5) (2012) 225-227.
- Brill, R. H., 'Crizzling - a problem in glass conservation', *Studies in Conservation* **20** (1975) 121-134, <https://doi.org/10.1179/sic.1975.s1.021>.
- van Giffen, A.; Koob, S. P., 'Deterioration of vitreous materials', in *The Encyclopedia of Archaeological Sciences*, Wiley Online Library (2018) 1-4, <https://doi.org/10.1002/9781119188230.saseaso179>.
- Kunicki-Goldfinger, J.; Kierzek, J.; Małowska-Bućko, B.; Kasprzak, A. J., 'Some observations on crizzled glass (preliminary results of a survey of 18th century central European tableware)', in *Proceedings XIX International Congress Glass*, Vol.43C, Society of Glass Technology, Edinburgh (2002) 364-368.
- Paul, A., 'Chemical durability of glasses; a thermodynamic approach', *Journal of Materials Science* **12** (1977) 2246-2268, <https://doi.org/10.1007/BF00552247>.
- Do Remus, R. H.; Mehrotra, Y.; Lanford, W. A.; Burman, C., 'Reaction of water with glass: influence of a transformed surface layer', *Journal of Materials Science* **18** (1983) 612-622, <https://doi.org/10.1007/BF00560651>.

22. Fernández Navarro, J. M., *El vidrio*, 3ª ed., Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Sociedad Espanola de Cerámica y Vidrio, Madrid (2003).
23. Shelby, J. E., *Introduction to glass science and technology*, 2ª ed., The Royal Society of Chemistry, Cambridge (2005).
24. 'Corning® Pyrex® 7740 Glass', in *Specialty Glass Products*, <https://www.sgpinc.com/materials/borosilicate/pyrex7740-glass/> (acesso em 2026-07-13).
25. 'PYREX® 7740 Borosilicate Glass from CORNING', in *Präzisions Glas & Optik*, <https://www.pgo-online.com/intl/pyrex.html> (acesso em 2026-07-13).
26. Damas, C., *Estudo de conservação da peça 'Fertility Object' em vidro da designer Susana Soares. Desafios da interação entre a função, comunicação e preservação*, Dissertação de Mestrado, Departamento de Conservação e Restauro, NOVA FCT, Monte da Caparica (2024).
27. Koob, S., 'Cleaning glass: a many-faceted issue', in *Objects specialty group, objects specialty group postprints*, eds. V. Greene e P. Griffin, Eds., The American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works, Washington (2004) 60-70.
28. Newton, C.; Logan, J., 'Care of Ceramics and Glass – Canadian Conservation Institute (CCI) Notes 5/1', in *Government of Canada* (2007), <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/care-ceramics-glass.html> (acesso em 2026-07-13).
29. M. Murray, 'Repairing an impossible bottle: taking inspiration from surgical techniques and puppeteers', in *National Museums Scotland*, <https://blog.nms.ac.uk/2019/08/02/repairing-an-impossible-bottle-taking-inspiration-from-surgical-techniques-and-puppeteers/> (acesso em 2024-09-15).
30. Rothenhäusler, U.; Cilurzo, K.; Keller, I., 'Drying methods of historic glass bottles: an investigation', in *Recent advances in glass and ceramics conservation 2022. 6th Interim Meeting of the ICOM-CC Glass and Ceramics Working Groups*, eds. R. Gridley e V. Schussler, ICOM-CC, Monte da Caparica (2022).
31. 'Design + Health exhibition in Valencia highlights importance of design in the health sector', in *dezeen*, <https://www.dezeen.com/2022/12/15/design-health-exhibition-world-design-capital-valencia/> (acesso em 2026-07-13).
32. Kramer, C., *HUMAN+. The future of our species*, exposição (2015-2016), <https://www.cccb.org/en/exhibitions/file/human-/129032> (acesso em 2026-07-13).
33. Science Gallery Dublin, *HUMAN + THE FUTURE OF OUR SPECIES*, video (2011), <https://www.youtube.com/watch?v=dY3TcxYo-vc> (acesso em 2026-07-13).
34. Ali, H., '«Can graphic design save your life?» Exhibition Wellcome Collection 7 September 2017-14 January 2018', *Communication Design* 5(1-2) (2017) 273-277, <https://doi.org/10.1080/20557132.2017.1403080>.
35. Volkswagen Group Culture, *The future starts here - Exhibition at the Victoria & Albert Museum*, video (2019), <https://www.youtube.com/watch?v=vSofoE8QFvM> (acesso em 2026-07-13).
36. Russell R.; Winkworth, K., *Significance 2.0: a guide to assessing the significance of collections*, 2ª ed., Collections Council of Australia, Canberra (2003).
37. Melo, H. P.; Cruz, A. J.; Candeias, A.; Mirão, J.; Cardoso, A. M.; Oliveira, M. J.; Valadas, S., 'FTIR of calcium sulphate-based preparatory layers', *Archaeometry* 56(3) (2014) 513-526, <https://doi.org/10.1111/arcim.12026>.
38. Kiefer, J.; Stärk, A.; Kiefer, A.; Glade, H., 'Infrared spectroscopic analysis of the inorganic deposits from water in domestic and technical heat exchangers', *Energies (Basel)* 11(4) (2018) 798, <https://doi.org/10.3390/en11040798>.
39. Andersen F. A.; Breević, L., 'Infrared spectra of amorphous and crystalline calcium carbonate', *Acta Chemica Scandinavica* 45 (1991) 1018-1024, <https://doi.org/10.3891/acta.chem.scand.45-1018>.
40. Al-Taweel, S. S.; Saud, H. R., 'New route for synthesis of pure anatase TiO₂ nanoparticles via ultrasound- assisted sol-gel method', *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 8(2) (2016) 620-626.
41. El-Deen, S. S.; Hashem, A. M.; Abdel Ghany, A. E.; Indris, S.; Ehrenberg, H.; Mauger, A.; Julien, C., 'Anatase TiO₂ nanoparticles for lithium-ion batteries', *Ionics (Kiel)*. 24(10) (2018) 2925-2934, <https://coilink.org/20.500.12592/hhm36sa> (acesso em 2026-07-13).
42. Chen, D.; Cheng, Y.; Zhou, N.; Chen, P.; Wang, Y.; Li, K.; Huo, S.; Cheng, P.; Peng, P.; Zhang, R.; Wang, L.; Liu, H.; Liu, Y.; Ruan, R., 'Photocatalytic degradation of organic pollutants using TiO₂-based photocatalysts: a review', *Journal of Cleaner Production* 268 (2020) 121725, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121725>.
43. Stephen, K.; Useato, L., *How to pack glass q&a live stream*, video, Corning Museum of Glass (2019), <https://www.youtube.com/watch?v=NARguIwcMXo&t=3083s> (acesso em 2026-07-13).

RECEBIDO: 2026.2.12

REVISTO: 2026.4.22

ACEITE: 2026.5.10

ONLINE: 2026.9.19



Licenciado sob uma Licença Creative Commons
Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 International.
Para ver uma cópia desta licença, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.pt>.

NORMAS PARA OS AUTORES

Princípios éticos

Tipos de manuscritos

Manuscritos

Referências bibliográficas

Submissão dos manuscritos

Avaliação dos manuscritos

Direitos

<https://conservarpatrimonio.pt/authors>

GUIDELINES FOR AUTHORS

Ethical guidelines

Types of collaboration

Manuscripts

References

Submissions

Refereeing

Rights

<https://conservarpatrimonio.pt/authors>

