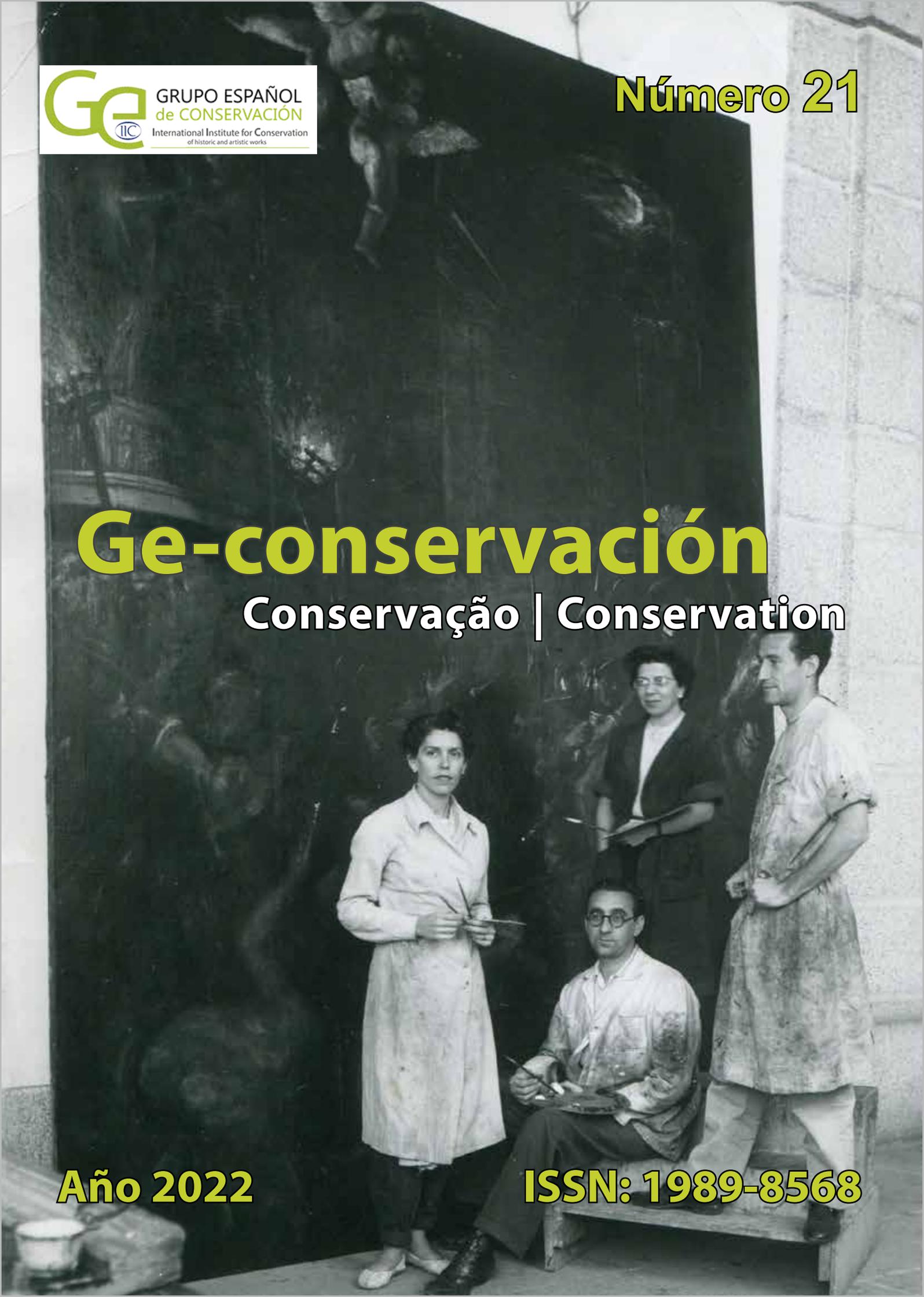


Ge-conservación

Conservação | Conservation

Año 2022

ISSN: 1989-8568



Dirección Editorial:	Emma García Alonso
Consejo de Redacción:	Ana Bailão, Rocío Bruquetas Galán, Emilio Cano Díaz, Ana Carrassón, António João Cruz, Rafael Fort González, Laura Fuster López, Silvia García Fernández-Villa, Marisa Gómez González, Ana Laborde Marqueze, Alfonso Muñoz Cosme
Editores Invitados Monográfico:	Javier Becerra Luna, Matha Romero Bastidas, Mónica Moreno Falcón, Rocío Ortiz Calderón
Secretaria de Edición:	Mª Concepción de Frutos Sanz
Maquetación:	Mª Concepción de Frutos Sanz
Traducción portugués:	Ana Bailão
Imagen portada:	Restauración del <i>Martirio de San Lorenzo</i> de Tiziano, Monasterio de San Lorenzo de El Escorial, Madrid, 1953. © Museo Nacional del Prado.

ISSN: 1989-8568



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

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

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

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



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

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

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

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

Ge-conservación
Conservação|Conservation

www.revista.ge-iic.com

E-mail: revista@ge-iic.org

www.ge-iic.com

E-mail: secretaria@ge-iic.org

Revista indexada en:



Índice

Artículos	Páginas
<i>Estudio material por FTIR-ATR y examen morfológico para el uso de tubos de encofrado como soporte de almacenaje de tapices</i> María López Rey, Ruth Chércoles Asensio	7
<i>Tratamiento de conservación a gran escala de piezas de artillería pesada de hierro fundido y procedencia subacuática. Procedimientos metodológicos</i> Inmaculada Sánchez Pedreño, Ignacio Salas Pardo de Donlebún, Juan Francisco García Amado, Santos García Trigo, Manuel Bethencourt Núñez	16
<i>Estudio de los efectos del fuego en las tablas del Maestro de san Narciso - Franci Joan (1481-1515) de la Iglesia Catedral Basílica Metropolitana de Valencia</i> Livio Ferrazza, David Juanes Barber, Greta García Hernández, Inmaculada Chuliá Blanco, José Antonio Madrid García, Lila Jurado Valdivia	29
<i>La restauración de la iglesia de Montesión en Sevilla (2002-2008)</i> Pedro Barrero Ortega	44
<i>Chemistry of 19th Century Lime Mortar on a tabique Pampango (Wattle-and-Daub) from the Philippines</i> Jan-Michael C. Cayme	55
<i>Estudio crítico sobre la actual destrucción política del monumento urbano</i> Fernando R. Contreras	64
<i>Metodología de captura y procesado para el desarrollo de una base de datos gráfica 3D del patrimonio arquitectónico</i> Marta Quintilla Castán, Luis Agustín Hernández	72
<i>Torre de la iglesia de la Compañía de Jesús de Quito: historia, proporciones y medidas</i> Inés del Pino Martínez, M. Lenin Lara Calderón	85
<i>The degradation of the "Study room" (Convent of Christ, Tomar, Portugal), from a preliminary analysis towards a sustainable maintenance</i> Fernando Costa, Manuel Rosa, Mattia Canetto, Maria Júlia Sobral da Fonseca	95
<i>Evaluación del decaimiento volumétrico en probetas de piedra sometidas a ciclos de cristalización de sales, registrado mediante fotogrametría digital</i> Eden Vizcaino, Miguel Soto, Alejandro Acosta	108
<i>El paisaje como proyecto de vinculación patrimonial: una propuesta metodológica</i> Marina López Sánchez, Mercedes Linares Gómez del Pulgar, Antonio Tejedor Cabrera	117
<i>La antigua arca principal de distribución de agua del Real Alcázar de Sevilla (España). Nuevas aportaciones a su conocimiento y conservación</i> Candela Bandrés Mariscal, Antonio José Albaronedo Freire, Miguel Ángel Tabales Rodríguez, María Dolores Robador González	129

<i>Las estancias de formación de restauradores españoles en el Istituto Centrale del Restauro de Roma (1958-1960)</i>	
María Concepción García Cabarcos	141
<i>A theoretical reflection on the documentation of contemporary art: a proposal for a chronological protocol</i>	
Rosario Llamas-Pacheco	152
<i>El reverso que no vemos. Hallazgo de un conjunto gótico actualmente disperso a partir del estudio del soporte</i>	
Iris Bautista-Morenilla, Anna Nualart-Torroja y Marta Oriola-Folch	165
<i>El Programa de Conservación en un museo. Estudio de caso del Proyecto Museográfico del Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas (Cartagena)</i>	
Soledad Pérez Mateo, Milagros Buendía Ortuño	177
<i>Cambios en la tipología de las pequeñas iglesias españolas en América por motivos estructurales: cómo se redujo la vulnerabilidad sísmica en el Chile actual</i>	
José-Carlos Salcedo Hernández	190
<i>The UNESCO site of the Casbah in the Master Plan of Algiers (PDAU[1]): between heritage requirements and the need for coordination</i>	
Mohamed Boukader, Youcef Chennaoui	205

Monográfico:

III Jornadas Científicas Internacionales sobre Investigación para la Conservación del Patrimonio Cultural

Presentación

Javier Becerra Luna, Matha Romero Bastidas, Mónica Moreno Falcón, Rocío Ortiz Calderón 222

Precipitación de carbonatos inducida microbiológicamente como potencial estrategia en la restauración de estructuras patrimoniales

Erick Ortega-Villamagua, Mariana Arcos, Martha Romero, Carlos Vasquez, Alex Palma-Cando 224

Levantamiento magnético en un sitio de interés arqueológico ubicado en Perucho provincia de Pichincha, Ecuador

Carlos Vásquez-Mora, Andrés Mosquera-Perugachi 235

Color study of historic silks

M. L. Vázquez de Ágredos Pascual, R. Herráez-Hernández, P. Campíns-Falcó, L. Rojo Iranzo and E. Alba Pagán 246

Red color characterization in several Roman frescos and paintings by in situ and remote LIBS, LIF and Raman Spectroscopies

Roberta Fantoni, Violeta Lazic, Francesco Colao, Salvatore Almaviva, Adriana Puiu 257

Propuesta metodológica para el análisis estilístico y técnico de imágenes de vestir de bulto redondo. Aplicación a una imagen del Siglo XVII

David Triguero Berjano 270

Mas allá de los primeros retratos fotográficos plateados: Estudio mediante microscopía SEM-EDX de dos daguerrotipos
Alba Guerrero García 282

La Piedra fundacional de la iglesia de San Blas (Cuenca, Ecuador). Diagnóstico interdisciplinar y orientaciones de conservación
María del Cisne Aguirre Ullauri, Diana Carolina Cordero Mendieta, Luis Mario Almache Sánchez 292

Review of satellite resources to assess environmental threats in rammed earth fortifications
Mónica Moreno, Rocío Ortiz, Pilar Calderón 309

Reseñas:

Libro: *Handbook: Greener Solvents in Conservation: An Introductory Guide.* Gwendoline R. Fife
Ruth Chércoles Asensio 330

Libro: *Vierges à l'enfant des Pyrénées-Orientales. 1200-1400. Étude technique et stylistique.* Corinne Van Hauwermeiren
Maite Barrio Olano 332

Artículos

Estudio material por FTIR-ATR y examen morfológico para el uso de tubos de encofrado como soporte de almacenaje de tapices

María López Rey, Ruth Chércoles Asensio

Resumen: Actualmente, se recomienda el almacenamiento de los tapices enrollados sobre un soporte cilíndrico. Los cilindros ideales están fabricados con cartón libre de ácido o polietileno de alta densidad, sin embargo el alto precio y la escasa comercialización de los mismos hace que sea frecuente recurrir a materiales de construcción, aunque es necesario comprobar su compatibilidad con los tapices, y para ello se debe conocer su composición química y sus propiedades físicas.

En este trabajo se estudian las propiedades químicas de componentes mayoritarios por espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier con dispositivo ATR acoplado (FTIR-ATR), análisis elemental con microscopía electrónica de barrido con energías dispersivas de rayos X (MEB-EDX) y examen morfológico por técnicas microscópicas de tubos de encofrado como solución ofrecida por la industria de la construcción para su utilización como soporte de almacenaje para tapices. Además, se muestra un ejemplo práctico de uso, empleándolos para el almacenaje de la colección de Tapices de Carmen y Justo Fernández, conservada en la Biblioteca Histórica Marqués de Valdecilla de la Universidad Complutense.

Palabras clave: tapices, almacenaje, conservación preventiva, FTIR-ATR, análisis físico-químico

Material study by FTIR-ATR and morphological examination for the use of formwork pipes as storage support for tapestries

Abstract: Nowadays, it is recommended to store tapestries rolled up on a cylindrical support. The ideal cylinders are made of acid-free cardboard or high-density polyethylene. However, the high price and its poor marketing, makes it common to resort to construction materials. To verify their compatibility with tapestries, it is necessary to know their chemical composition and physical properties.

In this work, the chemical properties of major components are studied by Fourier transform infrared spectroscopy coupled with ATR device (FTIR-ATR), elemental analysis with scanning electron microscopy (SEM-EDS) and morphological examination by microscopic techniques of formwork tubes as a solution offered by the construction industry for its use as a storage support for tapestries. In addition, an example using the tubes for the storage of the tapestry collection, Carmen y Justo Fernández, preserved in the Biblioteca Histórica Marqués de Valdecilla de la Universidad Complutense.

Keywords: tapestry, storage, preventive conservation, ATR-FTIR, physical-chemical analysis

Estudo material por FTIR-ATR e exame morfológico para o uso de tubos de cofragem como suporte de armazenamento de tapeçarias

Resumo: Atualmente, recomenda-se o armazenamento das tapeçarias enroladas sobre um suporte cilíndrico. Os cilindros ideais são fabricados com cartão livre de ácido ou polietileno de alta densidade, porém o alto preço e a escassa comercialização dos mesmos faz com que seja frequente recorrer a materiais de construção, embora seja necessário verificar a sua compatibilidade com as tapeçarias, e para isso deve-se conhecer a sua composição química e as suas propriedades físicas.

Neste trabalho estudam-se as propriedades químicas de componentes maioritários por espectroscopia de infravermelhos por transformada de Fourier com dispositivo ATR acoplado (FTIR-ATR), análise elementar com microscopia eletrónica de varrimento com energias dispersivas

de raios X (MEB-EDX) e exame morfológico por técnicas microscópicas de tubos de cofragem como solução oferecida pela indústria da construção para sua utilização como suporte de armazenamento para tapeçarias. Além disso, mostra-se um exemplo prático de uso, empregando-os para o armazenamento da coleção de Tapeçarias de Carmen e Justo Fernández, conservada na Biblioteca Histórica Marquês de Valdecilla da Universidade Complutense.

Palavras-chave: tapeçarias, armazenamento, conservação preventiva, FTIR-ATR, análises físico-químicas

Introducción

Las colecciones de tapices tuvieron su máximo esplendor a partir del siglo XIV, como símbolo de poder y ostentación (López 2017: 42), desempeñando un papel muy importante en las distintas manifestaciones de la vida pública y de las celebraciones cortesanas (Herrero 2008: 17). Sin embargo, estas colecciones eran objetos de consumo que se utilizaban con una función determinada. No es hasta mediados del siglo XIX cuando los tapices, y el resto de patrimonio textil empieza a coleccionarse por el simple hecho de ser objetos bellos (Carbonell 2009: 4).

Este pasado como objeto de consumo condicionó la conservación de los tapices en los museos, ya que en un principio continuaron tratándose como si fueran objetos de consumo, por eso se guardaban doblados, apilados unos sobre otros (Herrero 2014: 317).

Este sistema de almacenaje hace años que se abandonó por los problemas de conservación que acarrea, pues se producían entre otros deterioros, pliegues, deformaciones y tensiones.

Actualmente, se recomienda el almacenamiento de los tejidos en plano, ya que es la forma en que el peso del tejido se reparte por igual, sin generar tensiones ni deformaciones (CCI 2008a).

Este sistema de almacenaje no se adecua a las necesidades de los tapices, debido a sus grandes dimensiones, algunos tapices pueden llegar a medir más de 10 metros de ancho, por lo que el sistema ideal, en el caso de este tipo de obras, es enrollados sobre un soporte cilíndrico (López 2016: 68). El almacenaje de los tapices enrollados sobre un cilindro presenta grandes ventajas, por un lado, permite una manipulación correcta de los tapices, de forma que se evitan posibles deterioros mecánicos (Muñoz-Campos 2004: 74) y por otro, supone un gran ahorro de espacio, ya que existe mobiliario específico, generalmente muebles compactos, para guardar esos soportes cilíndricos, pudiendo colocar unas piezas suspendidas sobre otras, sin afectar a su conservación (López 2013: 34).

Para la construcción de estos soportes cilíndricos se deben emplear materiales químicamente estables, pues la degradación química de estos materiales podría dar lugar a compuestos volátiles que podrían afectar a los tejidos (López 2013: 43). En cuanto a las propiedades físicas del material del soporte, deben tener alta resistencia para poder soportar el peso del tapiz y a la vez, ser ligeros para no incrementar en exceso el peso del conjunto, ya que los

tapices pueden alcanzar un elevado peso, lo que dificulta su manipulación.

Los soportes ideales utilizados están fabricados con cartón libre de ácido o polietileno de alta densidad (CCI 2008b). Sin embargo, el elevado precio y la escasa comercialización de los mismos, hace que el uso de estos tubos no sea viable. Por ello, es frecuente recurrir a materiales de construcción, generalmente tuberías de PVC (Policloruro de vinilo) o ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno), de fácil acceso en el mercado y con un precio económico. El principal inconveniente derivado del uso de estos materiales como soporte es su elevado peso, lo que se agrava al enrollar el tapiz, además, en el caso del PVC puede experimentar fácilmente una degradación térmica, debido a su estructura química, dando lugar a la formación de estructuras inestables (dobles enlaces conjugados) que pueden intervenir en procesos de oxidación (Yu *et al.* 2015)

Con respecto al PVC cabe decir que cumple con la rigidez exigible a estos soportes textiles, ya que su temperatura de transición vítrea (T_g) alcanza un valor en torno a 85°C lo que hace que en condiciones ambientales normales (20-25°C) sea rígido y en torno a 90°C su comportamiento sea elástico.

Pero se debe indicar que en el procesado de la mayoría de los objetos de PVC, este material polimérico necesita ser aditivado, en primer lugar para rebajar la temperatura de fusión a valores inferiores a 100°C y evitar que su degradación térmica se inicie durante su procesado y en segundo lugar para mejorar la elasticidad del producto ya conformado (Shashoua 2008).

Por último, cabe decir que el principal aditivo añadido en las formulaciones de PVC son los plastificantes, en algunos casos puede llegar a superar el 50% en peso del material (Wilson 1995), además el plastificante se exuda fácilmente, lo que conlleva una disminución de la elasticidad del PVC y una adhesividad residual permanente superficial (García *et al.* 2008). Estas circunstancias de inestabilidad junto con el elevado peso del material hacen que el PVC no sea un material adecuado para su uso como soporte de almacenaje de tapices.

El ABS es un copolímero termoplástico compuesto por tres monómeros acrilonitrilo, estireno y butadieno, los dos primeros proporcionan resistencia mecánica y rigidez al polímero resultante mientras que el tercero aporta ductilidad a baja temperatura, esto hace que el ABS sea un material con buenas propiedades de resistencia mecánica además de liviano, pero el problema radica

en la mala capacidad para ser procesado por lo que las modificaciones realizadas en el procesado del material hacen que se encarezca el producto.

Por todo lo expuesto, es necesario buscar alternativas para soportes cilíndricos de almacenaje que estén compuestos por materiales estables, que sean ligeros y, por último, accesibles en el mercado y con un precio asequible. La industria de la construcción ofrece otras soluciones que pueden ser valoradas para su utilización como soporte de almacenaje para tapices: los tubos para encofrado [Figura 1]. Estos tubos son ligeros, y fácilmente accesibles en el mercado y con un bajo coste. Antes de su uso como material de conservación se debe realizar un estudio de los materiales que componen los tubos de encofrado para determinar sus características morfológicas y su composición química y así verificar su estabilidad química y por lo tanto su compatibilidad con los tapices.



Figura 1.- Tubo de encofrado

Objetivo

El objetivo de esta investigación es el estudio de la composición química mediante FTIR-ATR, SEM-EDX y el examen morfológico por microscopía estereoscópica de los materiales que componen los tubos de encofrado, además de la aplicación de estos como soporte de almacenaje para una obra real.

Metodología

La metodología seguida ha sido aplicada en sucesivas etapas.

La primera comprende el estudio de la información comercial. Para ello se han consultado las páginas web y los catálogos de productos de diferentes proveedores de material de la construcción (Encocentro, Aislervas, Fatecsa y Valero).

En una segunda etapa se ha procedido al análisis de los tubos de encofrado, estudiando dos tubos de diferentes marcas comerciales, Tubotec® (suministrado por Grupo Valero) y TBT® espiral (suministrado por Encocentro), en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid [LabMat] y el Centro Nacional de Microscopía Electrónica (ICTS) de la Universidad Complutense de Madrid.

Para el estudio de la composición y estructura de los materiales se ha seguido el protocolo instaurado en el [LabMat] para el estudio de materiales poliméricos utilizados en conservación y restauración de bienes culturales (Chércoles 2015).

Se ha realizado un examen microscópico para determinar la morfología de material, para ello se ha utilizado un microscopio estereoscópico modelo Leica MZ 125 equipado con iluminador de luz fluorescente y una cámara digital Leica DC150. Para este tipo de examen no es necesaria la preparación previa de la muestra, se ha tomado un fragmento del tubo de encofrado asegurándose que fuera completo (con todas las capas presentes) y se ha procedido a su observación.

La técnica analítica de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier en modo ATR (Reflectancia Total Atenuada) se emplea habitualmente en el estudio de polímeros y de los materiales resultantes de su procesado (Chércoles *et al.* 2009). Su aplicación tiene como finalidad identificar la composición química del material y estudiar su morfología. Para ello se ha empleado un equipo Thermo Nicolet 380, con detector DTGS/KBr, cubriendo un rango de 4000 a 400 cm^{-1} . Los espectros fueron recogidos en modo absorbancia después de 64 barridos y con una resolución espectral de 4 cm^{-1} . Se ha empleado un accesorio de reflexión total atenuada (ATR) de cristal de diamante. Los espectros han sido analizados utilizando el software Omnic v 7.3.

La espectroscopia FTIR-ATR presenta ciertas peculiaridades, entre las que destaca la ventaja de no ser necesaria la preparación previa de la muestra. Asimismo, hay que señalar que el análisis realizado con FTIR-ATR es superficial, circunstancia que se debe tener en cuenta en el caso de materiales que están constituidos por la superposición de diferentes materiales como es el caso de los tubos de encofrado. Debido a esto, en primer lugar se ha procedido

a separar cada una de las capas presentes en el tubo y realizándose el análisis sobre cada una de ellas, tanto en su cara externa como en la interna.

Para asegurar la reproducibilidad de las medidas se han recogido tres espectros para cada una de las capas del material del tubo (San Andrés *et al.* 2010). Para determinar la composición de una de las capas de aspecto metálico se ha procedido a realizar un análisis elemental sobre dicha capa para su caracterización con un microscopio electrónico de barrido JEOL 6400 JSM, con análisis elemental cualitativo con una resolución de 133 eV.

Por último, en una tercera etapa se ha procedido a la aplicación directa sobre un caso real, en este caso la construcción de soportes de almacenaje para la *Colección de Tapices de Carmen y Justo Fernández* en la Biblioteca Histórica Marqués de Valdecilla de la UCM [Figura 2].



Figura 2.- Vista de la sala de tapices de la Biblioteca Histórica Marqués de Valdecilla de la Universidad Complutense de Madrid.

Resultados

Se han estudiado los tubos de encofrado de las marcas comerciales Tubotec® y TBT® espiral, se ha comprobado que ambos están fabricados con los mismos materiales por lo que se presentarán los resultados de uno de ellos, en concreto del tubo TBT® espiral.

El examen microscópico aporta información sobre la estructura multicapa de los tubos, tipo tetra pack® (Tetra pack 2020). Este material está formado por cinco capas superpuestas, tal y como indica el fabricante, del exterior al interior, una capa fina transparente de aspecto plástico (capa 1), una capa de color gris brillante (capa 2), dos capas de material fibroso, una de color marrón (capa 3) y otra de color blanco (capa 4) y una última capa de color blanco con aspecto plástico (capa 5). Esta secuencia se repite cinco veces más [Figura 3].

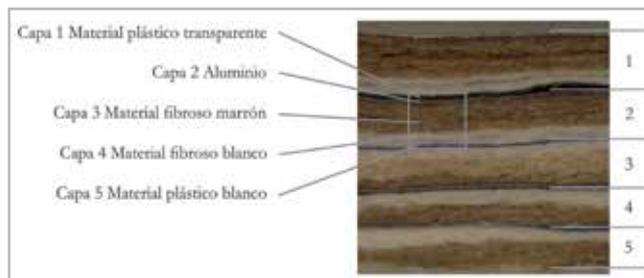


Figura 3.- Imagen con el microscopio estereoscópico de las capas.

Las técnicas microscópicas también aportan información sobre las características morfológicas constatando diferencias significativas en cuanto al procesado de los diferentes materiales que forman las capas, se puede decir que el tubo está compuesto por tres tipos de materiales procesados de diferente forma: material laminado con bajo espesor (film) (capas 1 y 5), una lámina de aspecto metálico, la capa 2 [Figura 4a] y por último material fibroso (capas 3 y 4) [Figura 4b].

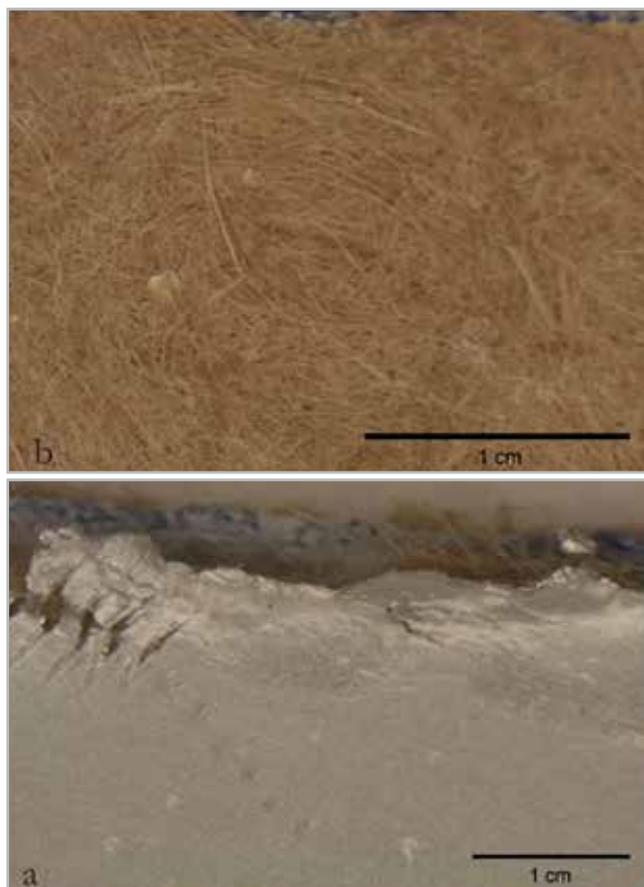


Figura 4.- Imagen en detalle de las capas de polietileno y aluminio (a) y detalle del material fibroso marrón (b).

La composición química de las distintas capas viene determinada por los análisis por FTIR-ATR.

La identificación de los distintos componentes se ha realizado mediante la asignación de las bandas a

determinados grupos químicos y por comparación de los espectros de las muestras con librerías de patrones de referencia (Socrates 2001, IRUG 2020, Hummel library 2021).

Los espectros FTIR-ATR de las capas 1 y 5 son idénticos y las bandas de absorción presentes corresponden con la vibración del grupo metileno ($-\text{CH}_2-$) (ν_{as} 2914 cm^{-1} ; ν_{s} 2847 cm^{-1} , δ y δ_{s} en el plano 1464 cm^{-1}) y con las bandas de vibración de deformación que aparecen dentro del intervalo 720–710 cm^{-1} , en concreto a 718 cm^{-1} (San Andrés *et al.* 2013). Estas bandas son características del polietileno de baja densidad [Figura 5].

En los espectros de las capas 3 y 4 se pueden asignar las siguientes bandas que corresponden con la celulosa: ν_{OH} (3321 y 3290 cm^{-1}), $\delta_{\text{en el plano OH}}$ (1453, 1315, 1204 y 658 cm^{-1}), $\nu_{\text{as COC}}$ (1157 cm^{-1}). También han sido identificadas s bandas correspondientes al carbonato cálcico (CaCO_3): ν_{as}

C–O (1423 cm^{-1}), δ fuera del plano C–O (896 cm^{-1}) y $\delta_{\text{en el plano}}$ (710 cm^{-1}). (San Andrés *et al.* 2010). [Figura 6].

Se debe mencionar que la celulosa y el polietileno son los materiales mayoritarios presentes y aunque se han podido detectar la presencia de carbonato cálcico como aditivo en las capas 1 y 5, para conocer la presencia de otros componentes minoritarios como aditivos, se deben realizar otros análisis capaces de detectar su presencia como la pirólisis-cromatografía de gases-espectrometría de masas, en otros estudios realizados los principales componentes minoritarios presentes en las capas de polietileno de baja densidad son aditivos derivados del ácido ftálico (Chércoles 2015).

En cuanto a la composición de la capa 2, de aspecto metálico, una vez separada del resto de capas se ha observado la superficie y se ha realizado un análisis elemental para determinar su composición, tal y como se observa en el espectro EDX se determinó la presencia de aluminio [Figura 7].

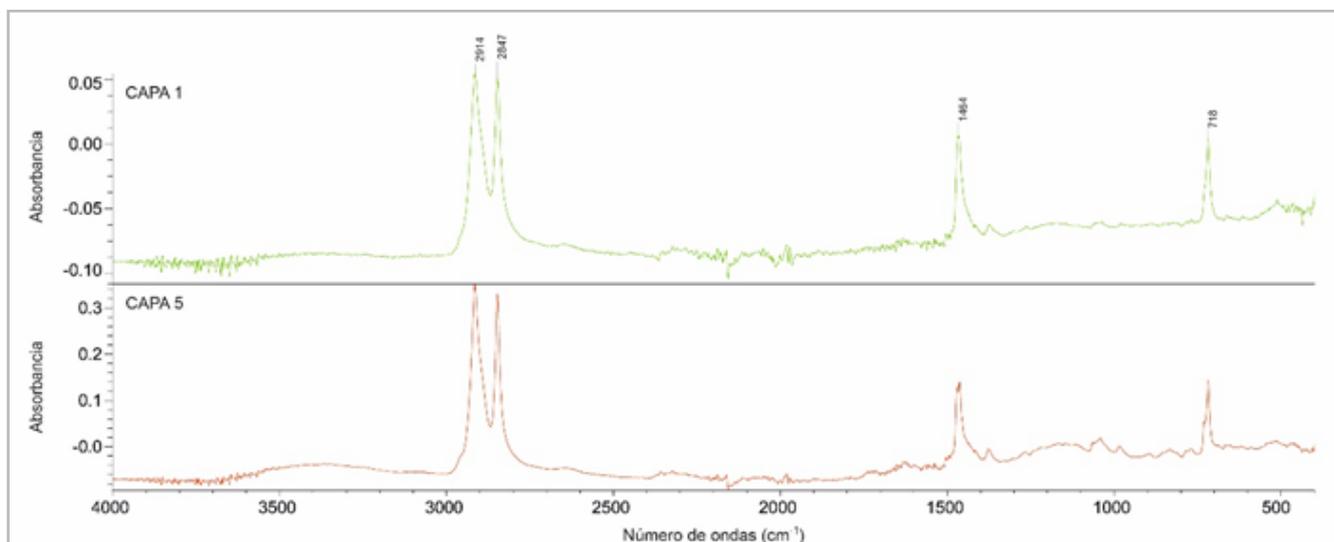


Figura 5.- Espectros FTIR-ATR de las capas 1 y 5, polietileno de baja densidad.

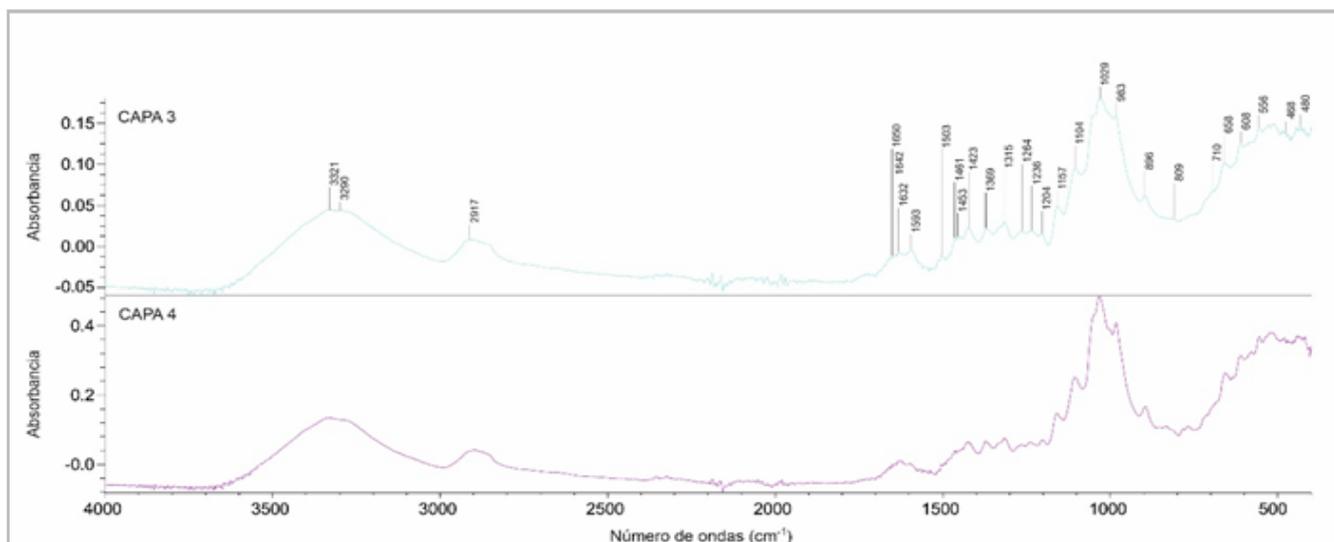


Figura 6.- Espectros FTIR-ATR de las capas 3 y 4, celulosa.

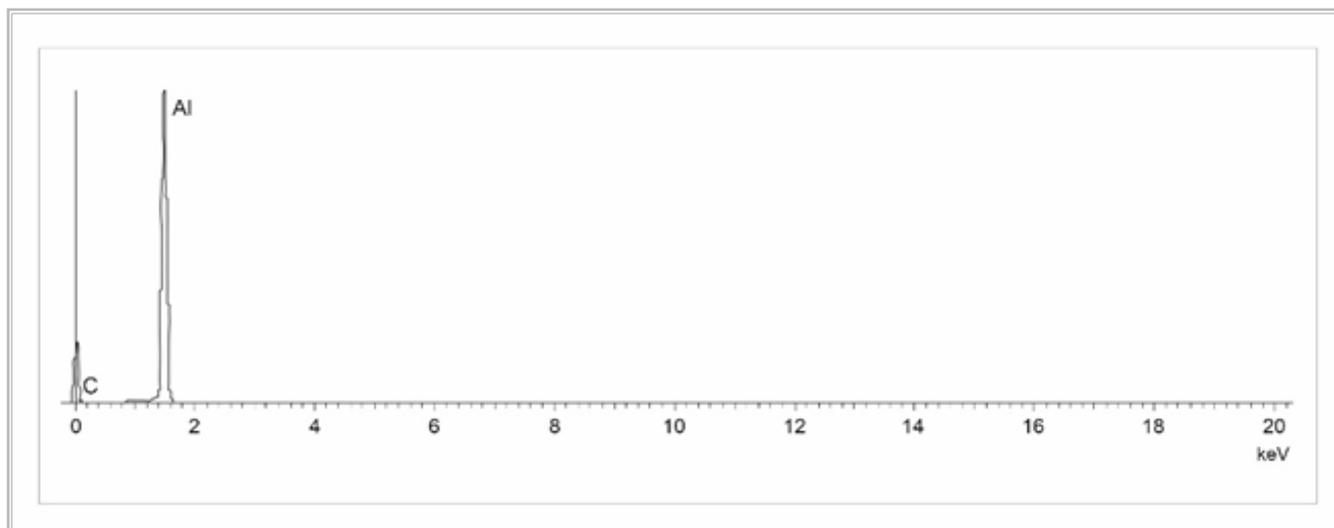


Figura 7.- Espectro EDX de la capa 2, aluminio.

La revisión de la información comercial expuesta en los catálogos de materiales de construcción y en las fichas técnicas de los tubos se especifica que los tubos de encofrado están fabricados mediante un proceso de termosoldado helicoidal de capas alternativas de papel Kraft, aluminio y polietileno (KAP) en relación 1:1:4. Es un material multicapa (un total de 6) dónde la sucesión de las mismas es la siguiente: polietileno con densidad de 13 gr/m², polietileno con densidad de 12 gr/m², aluminio de 22 gr/m² de densidad, polietileno con densidad de 12gr/m², papel Kraft de fibra larga de 12 gr/m² de densidad y una última capa de polietileno con densidad de 13 gr/m² (Aislervas 2019: 73). La unión de las distintas capas se realiza mediante la fusión del polietileno (Encocentro 2020). Los tubos se suministran con una longitud máxima de 4 metros y con diámetros desde los 15 cm a los 120 cm (Aislervas 2019: 73). Por último, se constata la ligereza de los tubos, que pesan entre un 1Kg por cada metro lineal de tubo, en el caso del tubo con 15 cm de diámetro y los 6 kg por cada metro lineal del tubo de 60 cm de diámetro (Valero 2019).

Los resultados de composición química obtenidos corresponden al material Tetrapack® (Tetrapack 2020) y corrobora la información ofrecida por los distribuidores de los tubos de encofrado.

Por último se exponen los resultados y el proceso de la preparación de tubos de encofrado para usarlos como soporte de almacenamiento en los tapices de la *Colección de Tapices de Carmen y Justo Fernández*.

La *Colección de Tapices de Carmen y Justo Fernández* fue depositada bajo la fórmula de comodato por sus propietarios. Está formada por cuatro tapices (*Las Bodas de Camacho*, *Quijote armado caballero*, *El Rucio de Sancho*, *La Princesa Micomicona*) y un tejido bordado (*Entrada del Amor* y *la Riqueza en las Bodas de Camacho*) (López 2020: 68). Dentro del programa de conservación preventiva

establecido en la Biblioteca Histórica, se alternan periodos de exposición con periodos de almacenaje en el depósito de la biblioteca, que cuenta con las condiciones climáticas y de seguridad adecuadas para la conservación de patrimonio cultural (López 2020: 73). Para el almacenamiento de los tapices se construyeron cinco soportes cilíndricos, adecuados a las medidas y necesidades de cada uno de los tapices, que además facilitaban su manipulación en los movimientos internos dentro de la biblioteca [Figura 8].



Figura 8.- Tapiz de *Las Bodas de Camacho* en su soporte de almacenaje. © Fotografía de Javier Tacón.

Para la construcción de los cinco soportes de almacenaje se emplearon tubos de encofrado, de dos marcas comerciales diferentes, pero, tal y como se ha mencionado anteriormente, con idéntica composición química y estructura. Se seleccionaron tres de la marca TBT® espiral y dos de la marca Tubotec®. Los tubos de la marca TBT® tienen 25 cm de diámetro mientras que los de Tubotec® tienen 30 cm, en ambos casos tienen un diámetro suficiente para minimizar la curvatura al enrollar el tapiz (Carbonell y Cerdà 2011: 13). Los tubos tienen una longitud máxima de 4 metros, lo que permite construir los soportes de una sola pieza. En este caso la longitud de cada tubo se determinó añadiendo 40 centímetros a la altura del tapiz, tomando esta como referencia, teniendo en cuenta que siempre se enrollan en sentido de la urdimbre (López 2019: 37).

El primer paso ha sido el acolchado del tubo con guata de poliéster (tejido no tejido de poliéster), y forrado con tejido tubular de algodón de punto elástico (ventulón®) [Figura 9].



Figura 9.- Soporte de almacenaje para tapices

El principal objetivo de este acolchado es preparar la superficie del tubo para recibir el tapiz, facilitando su enrollado. En cuanto a la guata de poliéster cabe decir que la morfología de las fibras de poliéster, tubular y con un entramado irregular sin compactar, característica de las fibras de origen sintético, proporcionan un filtro almohadillado que resulta excelente como forro de embalajes para actuar como amortiguador y protector frente a vibraciones mecánicas. El forrado con ventulón® proporciona una superficie lisa para el tapiz, y es fácilmente sustituible cuando este se deteriora o ensucia. Además, con este acolchado y forrado se aísla el material del tubo del tapiz, evitando las posibles emisiones de la degradación oxidativa de las capas de cartón (pastas mecánicas).

Para cerrar los extremos del tubo y para fabricar unas bases sobre las que descansa el tubo se ha utilizado espuma de polietileno de baja densidad, (Ethafoam®) material celular, donde la presencia de células cerradas hace que sea un material apropiado como protector frente al impacto y

las vibraciones, aislante térmico y de humedad, además la baja densidad del material le proporciona ligereza (Chércoles 2015: 264). Todo ello unido a que al cerrar los tubos se evita la entrada de polvo y suciedad en el interior del mismo [Figura 10a].

Además, se han construido unas bases de Ethafoam® sobre las que descansan los soportes de almacenaje de forma que el tapiz enrollado nunca soporta su propio peso en la zona de apoyo [Figura 10b]. Estas bases siempre se colocan en los extremos del soporte, y nunca deben entrar en contacto con el tapiz pues generarían tensiones en las zonas de contacto. Debemos recordar que el tubo es suficientemente largo y el tapiz no llega a los extremos.

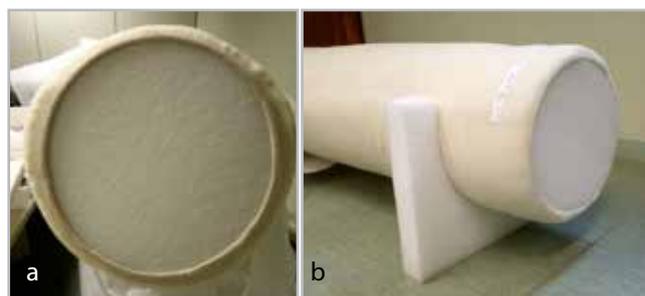


Figura 10.- Detalle de los extremos del soporte (a) y de las bases de ethafoam® (b).

Conclusiones

Es necesario realizar análisis previos de materiales antes de su uso en conservación para comprobar la composición química de los mismos y evaluar su compatibilidad con las obras de arte que estén en contacto.

Los análisis por FTIR-ATR, SEM-EDX y examen microscópico corroboran los resultados ofrecidos por el fabricante, donde los materiales mayoritarios son polietileno y celulosa y el material es multicapa.

Además, el material multicapa aporta la resistencia necesaria para soportar el peso del tapiz, y posee a la vez ligereza, lo que favorece la manipulación del soporte, incluso con el tapiz enrollado.

Los tubos de encofrado son un material accesible, existen numerosos distribuidores de este tipo de material, y tienen un precio muy económico.

Es necesario el acolchado del tubo con guata de poliéster y el forrado con Ventulón® para facilitar el enrollado y de paso, aislar el material del tubo del tapiz. Además, es recomendable cerrar los extremos del tubo con Ethafoam® para evitar la entrada de suciedad en su interior. Para repartir el peso del soporte con el tapiz enrollado y evitar que el conjunto toque el suelo y soporte su propio peso, se disponen dos bases de Ethafoam® en los extremos del tubo, evitando que estas bases estén en contacto con el tapiz.

Por último con la aplicación práctica de los tubos de encofrado como soporte de almacenaje para el enrollado de tapices en el almacenaje se ha constatado que ofrecen una buena solución como alternativa a otros materiales.

Como línea de investigación futura, para ampliar el conocimiento de la composición de los tubos de encofrado se propone la realización de análisis de Pirólisis-Cromatografía de gases-Espectrometría de masas que permita identificar los componentes minoritarios presentes en cada una de las capas. Además, para conocer el comportamiento a largo plazo del material se propone diseñar una metodología específica de envejecimiento artificial acelerado bajo variables controladas y evaluar los cambios producidos en su composición a los diferentes tiempos de envejecimiento.

Referencias

- AISLENVAS (2019). *Aislamientos y complementos para la construcción*. Disponible en: <https://www.aislenvas.es/wp-content/uploads/2019/09/catalogo-almacenes-y-construccion.pdf> [consulta: 18/12/2020].
- CANADIAN CONSERVATION INSTITUTE (2008a). *Flat storage for Textiles, CCI Note 13/2*. Disponible en: <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/flat-storage-textiles.html> [consulta: 20/9/2020].
- CANADIAN CONSERVATION INSTITUTE (2008b). *Rolled Storage for Textiles, CCI Note 13/3*. Disponible en: <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/rolled-storage-textiles.html> [consulta: 20/9/2020].
- CARBONELL BASTÉ, S. (2009). "Los inicios del coleccionismo Textil en Cataluña". *Datatextil*, 21: 4-27.
- CARBONELL BASTÉ, S. y CERDÀ DURÀ, E. (2011) "Criterios básicos sobre la manipulación de los objetos textiles patrimoniales". En *Manipulación, almacenaje y transporte de material textil*. Terrassa: Centro de Documentación y Museo Textil de Terrassa, 7-18.
- CHÉRCOLES, R. (2015). *Estudio del comportamiento físico-químico de materiales poliméricos utilizados en conservación y restauración de bienes culturales*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- CHÉRCOLES, R.; SAN ANDRÉS, M.; DE LA ROJA, J.M. y GÓMEZ, M.L. (2009). "Analytical Characterization of Polymers used in Conservation and Restoration by ATR-FTIR." *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 395: 2082-2096. <https://doi.org/10.1007/s00216-009-3201-2>
- ENCOCENTRO (2020). *TBT circular*. Disponible en: <https://www.encocentro.com/portfolio/tbt-circular/> [consulta: 18/12/2020].
- FATECSA (2019). *Encofrado "TBT" (Construcción)*. Disponible en: <https://fatecsa.com/productos/encofradotbtconstruccion/> [consulta: 18/12/2020].
- GARCÍA FERNÁNDEZ-VILLA, S.; DE LA ROJA, J.M. y SAN ANDRÉS, M. (2008), "Procesos y efectos de la degradación del PVC plastificado". En *9ª Jornadas de Conservación de Arte Contemporáneo*. Madrid: Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, 47-59.
- HERRERO CARRETERO, C. (2008). *Vocabulario Histórico de la Tapicería*. Madrid, Patrimonio Nacional.
- HERRERO CARRETERO, C. (2014). "Sistemas expositivos de tapices y textiles. Colección de Patrimonio Nacional: logros y propuestas". *Anales de Historia del Arte*, 24: 307-326. http://dx.doi.org/10.5209/rev_ANHA.2014.48280
- The Hummel Polymers and Additives Library *Hummel Polymers and Additives FTIR Spectral Library*.
- IRUG (2021). *Infrared & Raman Users Group*. Disponible en: <http://www.irug.org> [consulta: 19/01/2021].
- LÓPEZ REY, M. (2013). *Conservación Preventiva de colecciones textiles*. Avilés: ARA, Asociación Profesional de Conservadores y Restauradores del Principado de Asturias.
- LÓPEZ REY, M. (2016). "Aproximación a la conservación-restauración de los tapices", *Pecia Complutense*, 24: 60-69. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/35661/7/Pecia24-4.pdf>
- LÓPEZ REY, M. (2017). *Métodos y materiales de limpieza alternativos al medio acuoso en tratamientos de conservación-restauración de materiales textiles*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/48880/1/T40415.pdf>
- LÓPEZ REY, M. (2019). "Memoria del Proceso de Conservación-restauración *El Rucio de Sancho*", *Documentos de trabajo UCM. Biblioteca Histórica*, 2019/02. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/51166/2/DT2019-02.pdf> [consulta: 18/12/2020].
- LÓPEZ REY, M. (2020). "Tapestry Collection at the Biblioteca Histórica Marqués de Valdecilla, Complutense University of Madrid", *Datatèxtil*, 40: 65-74.
- MUÑOZ-CAMPOS, P. (2004). "Conservación y almacenamiento de tejidos: problemas múltiples, soluciones prácticas", *Museos.es: Revista de la Subdirección General de Museos Estatales*, 0: 72-79.
- SHASHOUA, Y. (2008). *Conservation of Plastics. Material Science, Degradation and Preservation*, Oxford: Butterworth Heineman.
- SAN ANDRÉS, M.; de la ROJA J.M.; CHÉRCOLES, R.; GÓMEZ, M. y BAONZA, V.G. (2010): "Envejecimiento con radiación UV de un cartón pluma neutro. Estudio de su evolución cromática y composición". *Óptica Pura y Aplicada*, 43 (4): 219-227.
- SAN ANDRÉS, M.; CHÉRCOLES, R.; GÓMEZ, M.L. y DE LA ROJA, J.M. (2010). "Materiales sintéticos utilizados en la manipulación, exposición y almacenamiento de Obras de Arte y Bienes

Culturales. Caracterización por espectroscopía FTIR-ATR". En *11ª Jornada de Conservación de Arte Contemporáneo*. Madrid: Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, 33-51.

SAN ANDRÉS, M., CHÉRCOLES, R., SANTOS, S., DE LA ROJA, J.M., DOMÍNGUEZ, C.Y GÓMEZ, M. (2013). "Materials made from Polyolefins used in tasks of Preventive Conservation. A comparative study of their long-term behavior". En M. A. Rogerio, M. Lazzari y E. Cano, (eds), *Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage*. Londres: Taylor & Francis Group, 341-344.

SOCRATES, G. (2001). *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies, Tables and Charts*. Los Ángeles: Wiley.

TETRA PAK (n.d.). *Material para envasado para envases de cartón Tetra Pak*. Disponible en <https://www.tetrapak.com/es-es/solutions/packaging/packaging-material/materials> [consulta: 18/12/2020].

VALERO (n.d.). *Tubotec*. Disponible en: <https://www.grupovalero.com/productos/soluciones-constructivas/encofrados/tubotec/> [consulta: 18/12/2020].

VALERO (2019). *Ficha técnica Tubotec*. Disponible en: <https://www.grupovalero.com/productos/soluciones-constructivas/encofrados/tubotec/> [consulta: 18/12/2020].

WILSON, A. S. (1995). *Plasticisers: Principles and Practice*, Londres: The Institute of Materials.

YU, J.; SUN, L.; MA CH.; QIAO, Y.; YAO, H. (2015): "Thermal degradation of PVC: A review", *Composites Science and Technology*, 117: 398-403. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.041>

Autor/es



María López Rey
marialopezrey@yahoo.es
Escuela Superior de Arte del Principado de Asturias
<https://orcid.org/0000-0001-8578-5182>

Licenciada en Bellas Artes por la Universidad Politécnica de Valencia y Máster en Proyectos de Conservación, restauración y Doctora en Bellas Artes por la Universidad Complutense de Madrid. Su actividad profesional, investigadora y docente está vinculada a la Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural desde hace 17 años. Centrándose en el campo de la conservación y restauración de materiales textiles. Como conservadora-restauradora de materiales textiles ha trabajado en diferentes instituciones públicas y privadas como el Centro de Documentación y Museo Textil de Terrassa, el Museo Cerralbo, la Fundación Balenciaga y la Fundación Princesa de Asturias, entre otros. Ha sido profesora en Grado de Conservación y Restauración de la Facultad de Bellas Artes de la UCM y actualmente es

profesora en el Título Superior de Conservación y Restauración en la Escuela Superior de Arte del Principado de Asturias. Su labor investigadora se centra en la conservación-restauración de los materiales textiles, con estancias en el Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, en el laboratorio de materiales de la Facultad de Bellas Artes de la UCM, y en el Metropolitan Museum de Nueva York. Esta trayectoria ha dado lugar a publicaciones y a la participación en diferentes congresos nacionales e internacionales además de la impartición de varios cursos relacionados con el ámbito de Conservación y Restauración de materiales textiles.



Ruth Chércoles Asensio
rmcherco@ucm.es
Universidad Complutense de Madrid
<https://orcid.org/0000-0002-0689-4266>

Licenciada en Ciencias Químicas y Doctora en Bellas Artes por la Universidad Complutense de Madrid, Máster de Restauración y Rehabilitación de Patrimonio Histórico de la Universidad de Alcalá de Henares. Su actividad investigadora, docente y profesional está vinculada a la Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural desde hace 17 años, especializándose en el estudio de propiedades, comportamiento y técnicas de análisis aplicadas a materiales del patrimonio cultural. Coordinadora y profesora en el Grado de Conservación y Restauración de la Facultad de Bellas Artes de la UCM y Responsable de Calidad del laboratorio de materiales de la Facultad de Bellas Artes de la UCM, incluido dentro de la Red de laboratorios e Infraestructuras de la Comunidad Autónoma de Madrid. Su labor investigadora en los últimos años se centra en la caracterización de polímeros utilizados en conservación y restauración y el estudio de su comportamiento físico y químico aplicando ensayos de envejecimiento artificial. Esta trayectoria ha dado lugar a publicaciones y a la participación en diferentes congresos nacionales e internacionales además de la impartición de varios cursos y másteres relacionados con el ámbito de la ciencia aplicada a la Conservación y Restauración.

Artículo enviado el 07/09/2021
Artículo aceptado el 19/12/2021



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1043>

Tratamiento de conservación a gran escala de piezas de artillería pesada de hierro fundido y procedencia subacuática. Procedimientos metodológicos

Inmaculada Sánchez Pedreño, Ignacio Salas Pardo de Donlebún, Juan Francisco García Amado, Santos García Trigo, Manuel Bethencourt Núñez

Resumen: Este trabajo describe el tratamiento simultáneo de limpieza y extracción de iones cloruro, mediante electrolisis, de 17 cañones de hierro del siglo XVIII, de origen subacuático, procedentes de un hallazgo casual. En un contexto de bajo presupuesto, se desarrollaron cubas a medida y herramientas específicas para la desconcreción de las piezas: una barrena de alta precisión para acceder al ánima de los cañones y bases de trabajo giratorias. Además, se aplicó una nueva técnica de estabilización para piezas grandes de fundición mediante envolturas en material absorbente impregnado en NaOH. La selección de la densidad de corriente para los tratamientos de electrolisis se estableció mediante un ensayo previo, que demostró la mayor eficiencia de $50 \mu\text{Acm}^{-2}$ frente a $1000 \mu\text{Acm}^{-2}$. La descripción de las tareas realizadas, junto con las novedades metodológicas aportadas, conforman una valiosa información para futuras actuaciones en materia de conservación a gran escala del Patrimonio Cultural Subacuático (PCS).

Palabras clave: cañones de hierro, tratamiento electrolítico simultáneo, desarrollo de herramientas, extracción de cloruros

Large-scale conservation treatment of cast-iron heavy artillery pieces from underwater origin. Methodological procedures

Abstract: This paper describes the simultaneous cleaning and chloride extraction, through electrolysis treatment, of 17 underwater-origin cast iron barrels from XVIII century coming from a casual find. Within a low-budget context, customized vats were made. Specific tools for the cleaning of the pieces were also developed: a high-precision drill to access the bore of the barrels and rotating work bases. Moreover, a new stabilization technique for large casting pieces was applied by wrapping them in absorbent material impregnated in NaOH. The selection of the current density for the electrolysis treatment was established by a previous test, which demonstrated the higher efficiency of $50 \mu\text{Acm}^{-2}$ against $1000 \mu\text{Acm}^{-2}$. The description of the tasks performed, along with the novel methodological procedures provided, constitute a valuable information for future actions in the field of large-scale conservation of Underwater Cultural Heritage (UCH).

Keywords: iron barrels, simultaneous electrolysis treatment, tools development, chlorides extraction

Tratamento de conservação a grande escala de peças de artilharia pesada de ferro fundido e procedencia subaquática. Procedimentos metodológicos

Resumo: Este trabalho descreve o tratamento simultâneo de limpeza e extração de íões cloreto, mediante eletrólise, de 17 canhões de ferro do século XVIII, de origem subaquática, procedentes de um achado casual. Num contexto de baixo orçamento, foram desenvolvidas cubas sob medida e ferramentas específicas para a desconcreção das peças: uma broca de alta precisão para aceder ao interior dos canhões e bases de trabalho giratórias. Além disso, aplicou-se uma nova técnica de estabilização para peças grandes de fundição através da cobertura destas em material absorvente impregnado em NaOH. A seleção da densidade da corrente para os tratamentos de eletrólise foi estabelecida através de um ensaio prévio, que demonstrou a maior eficiência de $50 \mu\text{Acm}^{-2}$ em relação a $1000 \mu\text{Acm}^{-2}$. A descrição das tarefas realizadas, juntamente com as novidades metodológicas encontradas, formam uma valiosa informação para futuras ações em matéria de conservação em grande escala do Património Cultural Subaquático (PCS).

Palavras-chave: canhões de ferro, tratamento eletrolítico simultâneo, desenvolvimento de ferramentas, extração de cloretos

Antecedentes

El Patrimonio Cultural Subacuático (PCS) desvela información básica de las distintas etapas históricas en áreas muy diversas del conocimiento, no solo sobre aspectos puramente técnicos como la construcción naval, sino también sobre cuestiones como la organización y el desarrollo económico de las sociedades. Siguiendo los principios generales de la UNESCO aceptados en la Convención de París sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático en 2001, la preservación *in situ* debe considerarse la primera opción antes de emprender cualquier actividad dirigida al PCS. Sin embargo, con frecuencia tienen lugar actuaciones que contradicen dicho principio. Al margen de la extracción controlada de piezas con fines científicos en yacimientos catalogados, son comunes los hallazgos casuales en obras de naturaleza civil, donde la extracción de las piezas del lugar de la excavación resulta imperativa por cuestiones tanto de interés público, como políticas o presupuestarias. Cuando el hallazgo comprende piezas de gran tamaño de procedencia subacuática, los tratamientos de conservación sobre las mismas se dificultan exponencialmente debido, entre otros, a la complejidad de la manipulación y a los factores de deterioro extrínsecos propios del medio marino. Así, en la mayoría de hallazgos de piezas de estas características, las actuaciones dirigidas a su conservación se simplifican y acaban por ser insuficientes: la recuperación y puesta en valor de 16 cañones del siglo XVIII, en las murallas de Cádiz (Ramos Gil 2015), o los trabajos realizados sobre los cañones de la ciudad de San Francisco de Campeche en Méjico (Arano 2009), constituyen ejemplos en los que los tratamientos realizados para la conservación de las piezas no incluyeron la extracción de iones cloruro (Cl⁻). En otras ocasiones se busca una solución de compromiso, consistente en volver a integrar los elementos metálicos en el medio marino. Así, en 2015, un conjunto de 28 piezas de artillería y 7 anclas pertenecientes a los pecios Delta I y Delta II, localizadas en las obras de ampliación del puerto de contenedores de Cádiz, fueron re-depositadas en el mar tras varios meses de espera en tanques de almacenamiento en tierra firme (comunicación personal). En todo caso, las actuaciones reflejadas en la bibliografía existente no muestran como una práctica común la extracción de iones cloruro en grupos de piezas metálicas de gran calibre.

La alta concentración de Cl⁻ presente en piezas metálicas, procedentes del medio marino, es directamente responsable de su deterioro mediante un proceso local de acidificación conocido como corrosión activa (Wang 2007, Watkinson, Al-Zahrani 2008). Por ello, la conservación a largo plazo de piezas de esta naturaleza está directamente ligada a la extracción de estos iones. Aunque en objetos de hierro se ha demostrado que la simple inmersión en disoluciones alcalinas permite su eliminación (Selwyn 2004, Scmutzler y Ebinger-Rist 2008), diversos autores han demostrado en las últimas décadas que la técnica de electrolisis, utilizada desde mediados del siglo XX (Plenderleith 1956), constituye un tratamiento de conservación más adecuado para piezas metálicas de procedencia subacuática (Doménech-Carbó *et al.* 2009, Coelho 2010, Degriigny 2010, Bethencourt y Zambrano 2011). Sin embargo,

la ejecución simultánea de esta técnica en piezas metálicas de gran envergadura requiere de grandes infraestructuras y una inversión económica considerable. Como muestra de esta dificultad, cabe mencionar trabajos homólogos realizados actualmente en España por tres de los centros de referencia en materia de restauración de arqueología subacuática. Así, el laboratorio del Centro de Arqueología Subacuática de Andalucía (CAS) dispone de cubas de electrolisis de diferentes tamaños y realiza tratamientos de estabilización catódica, si bien no suele abordar tratamientos de manera simultánea a piezas de gran tamaño. Algo similar ocurre en el Museo Nacional de Arqueología Subacuática (ARQUA), cuyo laboratorio ha realizado recientemente la extracción de Cl⁻ a dos culebrinas de bronce procedentes de la Fragata Mercedes (<http://www.culturaydeporte.gob.es/mnarqua/investigacion/proyectos/nsm.html>). En cuanto al Laboratorio de Estudios y Conservación del Patrimonio Histórico (LECPH) de la Universidad de Cádiz, aunque dispone de cubas donde realizar trabajos de estabilización, estas no pueden, por limitaciones de tamaño, acoger objetos superiores a 150 cm. Tales circunstancias, unido a la inexistencia de trabajos publicados hasta la fecha sobre tratamientos simultáneos que pudiesen ser comparables atendiendo a la metodología, número y tamaño de piezas, dan idea de la dimensión del desafío planteado en este trabajo.

El objetivo de este trabajo es describir el conjunto de actuaciones de bajo coste llevadas a cabo para concluir, en un breve espacio de tiempo y de manera simultánea, los tratamientos de urgencia requeridos para la conservación de 17 cañones de hierro fundido de procedencia subacuática, extraídos tras un hallazgo casual. Para ello, mediante el uso de materiales comúnmente usados en otras disciplinas profesionales, se desarrollaron métodos y herramientas específicas que agilizaron y facilitaron los trabajos de limpieza, desconcreción y estabilización de las piezas. Además, los parámetros del tratamiento electrolítico se establecieron mediante un ensayo comparativo previo realizado sobre dos balas de cañón procedentes del mismo hallazgo. La información contenida en este trabajo puede resultar especialmente valiosa para acometer futuros trabajos de conservación a gran escala de grandes objetos metálicos de difícil manipulación, provenientes de yacimientos o hallazgos no planificados, que no cuenten con las infraestructuras y medios económicos suficientes.

Contexto arqueológico de las piezas y metodología aplicada

—Hallazgo de las piezas

En el año 2009, fueron halladas en el entramado defensivo relacionado con la Batería del Caballero Zuazo, San Fernando (Cádiz), [Figura 1A], 19 piezas arqueológicas presumiblemente del s. XVIII sumergidas en fango de la zona intermareal de un caño de marea. Durante las obras de excavación para el acondicionamiento de las infraestructuras del tranvía metropolitano Bahía de Cádiz,

se extrajeron 17 cañones de hierro fundido con ánimas de entre 7 y 13 cm, longitudes de entre 2,08 y 2,73 m y pesos finales, una vez limpios, de entre 647 y 1.918 kg, así como dos balas de cañón de 10,50 y 10,95 kg, ambas de calibre 32.

Extraídas el 7 de septiembre [Figuras 1B, 1C y 1D], a su llegada al laboratorio, tres meses más tarde, las piezas presentaban un avanzado proceso de corrosión debido a la ausencia de actuaciones de conservación a pie de obra. A instancia del Ministerio de Obras Públicas, la empresa Aula3 AIP S.L. aceptó el reto de realizar los correspondientes trabajos de conservación y restauración, que incluían entre sus fases la estabilización del metal y la extracción de cloruros mediante electrolisis. Reunido un equipo multidisciplinar compuesto por arqueólogos, restauradores e ingenieros, se habilitó un laboratorio de restauración específicamente diseñado para dar acogida a las 17 piezas metálicas de gran envergadura, que recibirían, de forma simultánea, el tratamiento electrolítico necesario para su conservación; una actuación sin precedentes que tuvo una duración de un año.

— Organización del espacio

Los trabajos tuvieron lugar en una nave industrial de 1000 m² de superficie total, ubicada en el polígono Fábricas, en San Fernando (Cádiz). Se acondicionaron 950 m² de superficie diáfana como *laboratorio húmedo*. Dicho laboratorio fue equipado con puente grúa, cubas de inmersión para tratamiento electrolítico, fuentes de alimentación regularmente distribuidas [Figuras 2A, 2B y 2C], un desionizador de agua, un sistema portátil de

aspiración de líquidos y mangueras de diferentes diámetros. En esta misma área, mediante el uso de una carpa portátil, se aisló un *espacio destinado a la desconcreción* de las piezas [Figura 2E], el cual fue dotado con martillos, cinceles y micro-cinceles, así como con herramientas específicamente fabricadas. El resto de la superficie lo compusieron espacios independientes, destacando el *laboratorio seco* de análisis de muestras [Figura 2D], que fue equipado con un medidor portátil de pH y temperatura, un electrodo de referencia de Ag/AgCl y un multímetro digital. La cantidad de iones cloruro eliminados fue monitorizada por métodos clásicos de valoración (Wang 2007, Burshneva y Smirnova 2010). Técnicas más ágiles para este propósito, como la cromatografía iónica (Coelho *et al.* 2014), no estaban disponibles en el año 2009.

— Estabilización inicial y desconcreción de las piezas. Fabricación de cubas a medida y desarrollo de herramientas específicas

La primera actuación realizada en el laboratorio fue la estabilización inicial de las piezas, la cual se realizó mediante su inmersión en una disolución acuosa de NaOH 5M, pH 13,3±0,6 y a temperatura ambiente. Utilizando materiales comúnmente empleados en otras áreas profesionales se diseñaron cubas de bajo coste a la medida de cada cañón; con este objetivo, se construyeron armazones rectangulares con listones de madera de pino y paneles de tablero marino reforzados en su parte superior e inferior. Posteriormente se introdujo una capa impermeable de polietileno de baja densidad, de 1200 galgas de espesor, a modo de “bolsa”



Figura 1. - Localización del hallazgo sobre un plano de la Bahía de Cádiz del s. XVIII (A). Extracción de las piezas (B, C y D). Fotografías de la Agencia de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Consejería de fomento, Infraestructuras y Ordenación del Territorio.

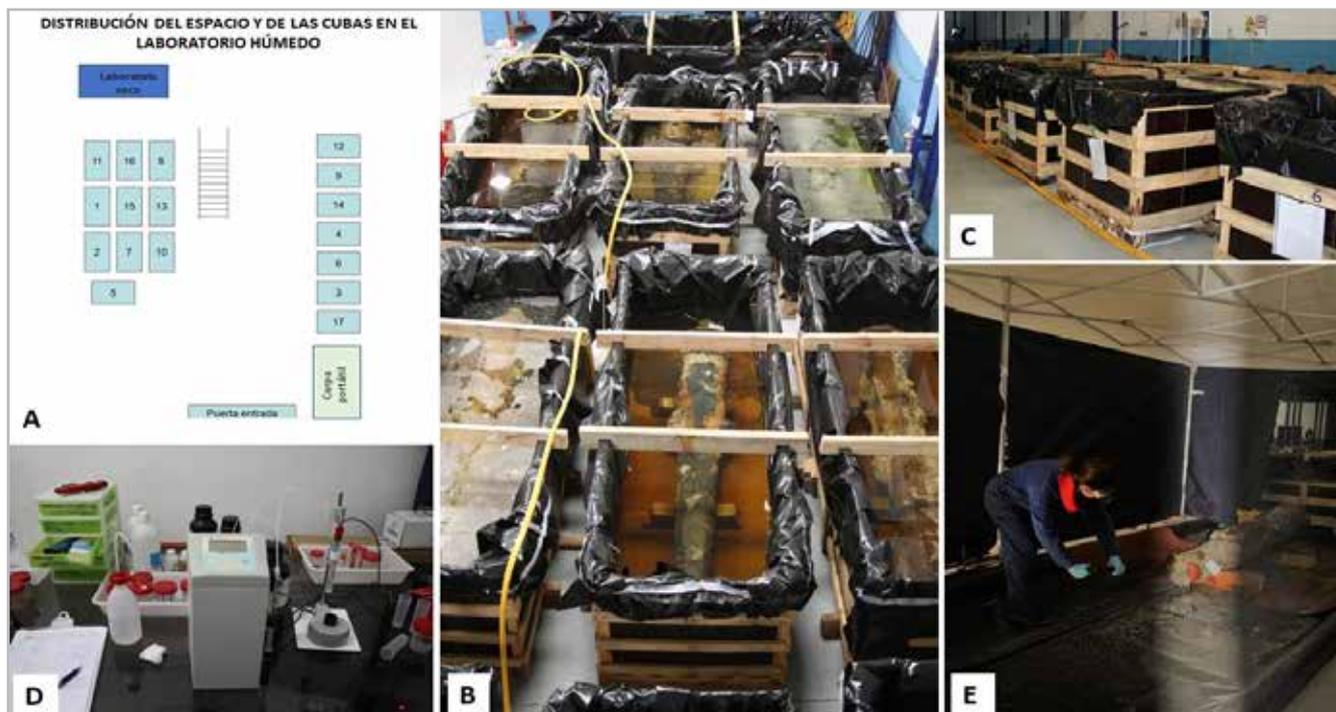


Figura 2.- Distribución del espacio y de las cubas con cañones sumergidos en disolución de NaOH 5M, dentro del laboratorio húmedo (A, B y C). Laboratorio seco (D). Espacio delimitado con carpa portátil (E). Fotografías de archivo de Aula3 AIP S.L.

[Figuras 2B y 2C]. Por último, se tallaron a medida, igualmente en madera de pino, piezas de apoyo para los cañones.

La fase de desconcreción se realizó fuera de las cubas, utilizando agua a presión, martillos y cincelos para las capas más gruesas de concreción, y micro-cincelos de aire

comprimido para las intervenciones de mayor precisión. Vista la dificultad de manipulación de las piezas, debido a su envergadura, peso y fragilidad, se diseñaron unas *bases de trabajo giratorias* [Figura 3] constituidas por dos estructuras metálicas de 70 cm de alto con forma de prisma de base rectangular. En la parte superior se colocaron dos



Figura 3.- Bases de trabajo giratorias (A, B y C). Ensayo de técnica de estabilización para piezas de gran calibre (A y C). Fotografías de archivo de Aula3 AIP S.L.

ruedas de caucho elástico natural con gran capacidad de carga. Además, varias perforaciones realizadas en los listones superiores de cada base permitían unir o separar las ruedas a conveniencia, haciendo de nuestras bases soportes adecuados para todas las piezas a tratar, independientemente de su tamaño.

Paralelamente, se desarrolló una *barrena portátil de alta precisión para la limpieza de las ánimas de los cañones*, apta para cualquier modelo, longitud y diámetro de cañón [Figura 4]. Esta fue fabricada a partir de un perforador

de base (usado en todo momento con 460 rpm), un gato elevador de vehículos y una estructura metálica sencilla. Disponía de una toma de agua para evitar el calentamiento debido a la fricción de la corona con el metal, facilitando al tiempo la evacuación de los restos. Por último, para minimizar la posibilidad de daños en el ánima durante el procedimiento, se acopló un sistema láser que permitió una alineación perfecta del ánima con las coronas de perforación, fabricadas en 7, 8, 9, 10, 11, 11,5, 12,5 y 13 cm de diámetro, conforme a los distintos diámetros de las ánimas de los cañones.

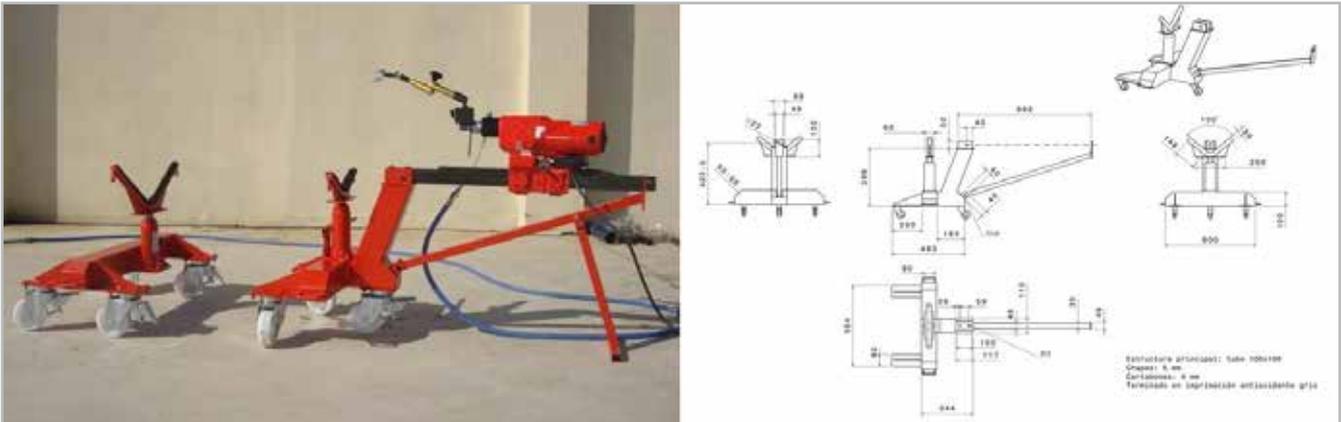


Figura 4. Barrena de alta precisión (izquierda). Plano parcial del diseño original del sistema realizado por J. F. García Amado e Ignacio Salas Pardo (derecha). Fotografías de archivo de Aula3 AIP S.L.

— Estabilización de urgencia para piezas de gran calibre

A fin de evitar procesos de degradación propios de piezas extraídas de un medio húmedo a una atmósfera seca y oxigenada (Rimmer et al 2013), se desarrolló un modelo de *estabilización de urgencia para piezas de gran calibre*. Dicha técnica realizada a la temperatura ambiente del interior de la nave (15-26°C) se basó en un sistema de doble envoltura de la pieza, siendo la primera de ellas realizada con una bobina de trajo de algodón empapada en una disolución de NaOH 5M en agua corriente. El alto poder de absorción de este tejido, compuesto por un 80% de algodón, resultó óptimo para mantener la pieza húmeda. A su vez, dicha envoltura fue cubierta mediante una película plástica transparente, comúnmente utilizada como producto de embalaje. Por último, como medida de seguridad, el conjunto fue sellado con cinta de embalaje adhesiva de PVC, generando así la estanqueidad suficiente para mantener, temporalmente, la humedad de las piezas [Figuras 3A y 3C].

— Optimización de la densidad de corriente para el tratamiento electrolítico

Con el propósito de obtener datos útiles para del tratamiento de extracción de Cl^- que se aplicaría posteriormente a los cañones, se realizó un ensayo previo con dos balas de cañón de hierro procedentes del mismo hallazgo. Hamilton (1997) recomienda densidades de

corriente distintas en función de si se pretende una pasivación, una extracción de cloruros o una limpieza mecánica de la superficie de la pieza. Por su parte, Bertholon (2001) empleó densidades de corriente de hasta $1050 \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ en tratamientos utilizados para la estabilización de piezas de hierro fundido de procedencia subacuática. A su vez, en 2001, se demuestra una mayor eficiencia en la extracción de cloruros en piezas de hierro forjado aplicando una densidad de corriente de $50 \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ (Carlin et al. 2001). En una bala similar a las consideradas en este trabajo, Gil et al. (2003) aplicó una densidad de corriente de $50 \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$, mostrando su efectividad en la extracción de iones cloruro de la estructura de akaganeita, principal producto de corrosión del hierro en medio marino. Con estos antecedentes, y debido al alto grado de deterioro de las piezas halladas, se optó por $50 \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ y $1000 \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ como densidades de corriente a testar.

Así, se fabricaron celdas electrolíticas usando malla de acero galvanizado en caliente (1 cm x 1 cm de luz y un grosor de alambre de 1,90 mm), cables de electricidad de hilo de cobre y pinzas de cocodrilo. Se realizaron cuatro baños electrolíticos en NaOH 5M (2% p/v) con idéntico volumen de electrolito (43 l) para cada una de las balas, utilizando agua corriente para el primer baño y agua desionizada para los tres siguientes. Los cambios de baños fueron determinados en función de la estabilidad en los valores de las lecturas de la concentración de Cl^- en el electrolito. La bala número 1 estuvo sometida a una densidad de 50

μAcm^{-2} y la bala número 2 a $1000 \mu\text{Acm}^{-2}$. Tras el cálculo del área de la esfera, se estableció un amperaje de 0,03 A para la bala número 1 y 0,8 A para la número 2. El ensayo tuvo una duración total de 2016 horas, dándose por concluido cuando el valor de la concentración de Cl^- se estabilizó por debajo de 50 ppm. Se optó por un control directo sobre el amperaje. Las mediciones de pH se realizaron diariamente, registrándose valores de entre 13,5 y 14,0 para la bala sometida a $50 \mu\text{Acm}^{-2}$ y de entre 12,8 y 13,8 para aquella sometida a $1000 \mu\text{Acm}^{-2}$. La medición del potencial catódico referenciado al electrodo de Ag/AgCl se realizó semanalmente, registrándose valores de entre -0,98 y -0,93 V para la bala sometida a $50 \mu\text{Acm}^{-2}$

y de entre -0,98 y -1,14 V para la bala sometida a $1000 \mu\text{Acm}^{-2}$. La temperatura se mantuvo entre 15 y 22 °C. Debido a la similitud en cuanto a la procedencia y estado de conservación entre las balas y los cañones, se trabajó con la hipótesis de que los resultados obtenidos en este ensayo podrían ser extrapolados al resto de las piezas de gran calibre.

Según muestran los gráficos, el sistema estructurado con $50 \mu\text{Acm}^{-2}$ reveló una mayor eficiencia al conseguir extraer más Cl^- a lo largo de la totalidad del tratamiento. Además, se observa que la extracción de dichos iones se produjo fundamentalmente al inicio del primer baño [Gráfico 1].



Gráfico 1.- Proceso de extracción de cloruros en las balas de cañón testadas.

Las lecturas en la concentración de Cl^- en el 4º baño dieron resultados “fuera de criterios”, indicando que la concentración de cloruros estaba por debajo de los 50 ppm. Asimismo, es interesante destacar que en la bala sometida a $50 \mu\text{Acm}^{-2}$ apenas se observó la aparición de burbujas en su superficie a lo largo de todo el tratamiento. Por su parte, la bala que soportó $1000 \mu\text{Acm}^{-2}$ expulsó menos Cl^- , aunque de manera más homogénea, y estuvo burbujeando desde el inicio de forma moderada pero continua debido a una mayor evolución de hidrógeno en su superficie. Considerando tales resultados, se optó finalmente por $50 \mu\text{Acm}^{-2}$ como densidad de corriente más fiable a aplicar en el posterior tratamiento electrolítico de los cañones.

—*Tratamiento electrolítico para la extracción de Cl^- de los cañones*

A lo largo de la nave se instalaron bases múltiples de electricidad con interruptores, fuentes de alimentación —colocadas sobre repisas cuyos laterales fueron perforados— y ventiladores acoplados a las mismas a fin de evitar el sobrecalentamiento de estas.

Para el montaje de las celdas galvánicas se insertaron en los cañones varillas roscadas de acero inoxidable. Estas se forraron a continuación con tubos de silicona para evitar el contacto con el ánodo de sacrificio. Dicho ánodo se fabricó mediante estructuras tubulares de malla de acero galvanizado en caliente, las cuales se colocaron alrededor de cada cañón [Figura 5]. Finalmente, se soldaron pinzas de cocodrilo a los correspondientes cables de electricidad, quedando cada pieza conectada y activada con parámetros de intensidad y corriente individualizados en función de la superficie de cada cañón.

La densidad de corriente aplicada en los tratamientos electrolíticos de los cañones fue de $50 \mu\text{Acm}^{-2}$. Así, se realizaron un total de tres baños electrolíticos en disolución de NaOH 5M, con un amperaje de 1,01-1,32 A, calculado mediante la suma de las áreas de los cilindros del cuerpo principal, los muñones, y la esfera del cascabel. La duración de los baños vino determinada por las lecturas semanales de la concentración de Cl^- en el electrolito. Con el fin de mantener el sistema en todo momento dentro del área de protección catódica del diagrama de Pourbaix para el hierro, se realizó un control semanal de pH, temperatura y potencial catódico [Tabla 1].



Figura 5.- Cañón depositado en cuba con celda galvánica pre-instalada. (A). Detalle de varilla roscada (B). Celda galvánica (C). Fotografías de archivo de Aula3 AIP S.L.

	Cañón 1		Cañón 2		Cañón 3		Cañón 4		Cañón 5		Cañón 6		Cañón 7	
	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE
pH	13,7	0,3	13,3	0,6	13,5	0,4	13,5	0,4	13,5	0,5	13,5	0,5	13,8	0,3
°C	19,4	0,3	19,1	5,0	19,3	4,6	19,3	4,5	19,3	4,9	19,1	4,7	19,1	4,7
Pot. Cat.	-1,003	0,153	-0,703	0,174	-0,901	0,134	-0,827	0,103	-0,983	0,142	-1,037	0,120	-1,009	0,142
	Cañón 8		Cañón 9		Cañón 10		Cañón 11		Cañón 12		Cañón 13		Cañón 14	
	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE
pH	13,4	0,4	13,2	0,5	13,6	0,3	13,6	0,3	13,6	0,3	13,6	0,4	13,3	0,6
°C	18,9	4,9	19,4	4,7	19,3	4,6	19,1	4,9	19,1	4,5	18,7	5,0	19,1	4,7
Pot. Cat.	-0,898	0,106	-0,969	0,157	-0,931	0,170	-1,039	0,118	-0,909	0,158	-0,982	0,157	-0,991	0,161
	Cañón 15		Cañón 16		Cañón 17		CONJUNTO DE 17 CAÑONES							
	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom		DE					
pH	13,8	0,3	13,5	0,6	13,5	0,5	13,5		0,2					
°C	19,2	4,9	18,8	4,8	19,5	4,9	19,2		0,2					
Pot. Cat.	-1,036	0,117	-0,868	0,062	-1,029	0,112	-0,948		0,090					

Prom=Promedio; DE=Desviación estadística

Tabla 1.- Valores registrados de pH, temperatura (°C) y potencial catódico (promedio ± desviación estándar) durante el proceso de extracción de iones Cl⁻ en los 17 cañones de hierro fundido objetos de tratamiento.

Resultados y Discusión

— *Estabilización inicial mediante baños alcalinos. Reacciones químicas en las piezas*

Las cubas fabricadas para la estabilización y tratamiento electrolítico de las piezas mostraron su efectividad; el revestimiento de polietileno permaneció estable ante las

disoluciones alcalinas y las estructuras fabricadas en madera resistieron la presión ejercida por el volumen albergado en el interior de las mismas. Tras 24 horas sumergidas en una disolución acuosa de NaOH 5M, pH 13,3±0,6 y a temperatura ambiente, se observaron afloraciones de distintas morfologías tanto en los cañones como en las balas [Figura 6]. Un análisis elemental de estos productos mediante espectroscopia de energía dispersiva (EDS), llevado a cabo en las instalaciones de la Universidad de Cádiz, reveló que se trataba de óxidos y oxihidróxidos de hierro.



Figura 6.- Afloraciones aparecidas en la superficie de las piezas tras 24 horas sumergidas en una disolución de NaOH 5M en agua corriente y pH 13,4±0,6. Fotografías de archivo de Aula3 AIP S.L.

Durante la fase de desconcreción de los cañones, realizada fuera de los baños alcalinos, se observaron cambios de color en la superficie del metal que iba quedando expuesto a la atmósfera [Figura 7]. Las reacciones tuvieron una duración aproximada de 20 minutos y provocaron un viraje de color desde el blanco azulado o verde muy claro hasta el naranja, produciéndose únicamente en la superficie del metal que acababa de ser descubierto.

Investigaciones previas han demostrado la formación de hidroxiclorigo ferroso ($\beta\text{-Fe}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$) como principal

producto de corrosión en piezas de hierro sumergidas en medios marinos y anóxicos (Rémazeilles *et al.* 2009). Este autor también identificó productos con contenidos de azufre (FeS) debido a la presencia de bacterias sulfato-reductoras. En nuestro caso, aún sin información analítica, estudios realizados en sedimentos próximos al hallazgo revelaron igualmente una naturaleza anaerobia y marina de los mismos (Lara-Martín 2005), invitando a pensar que el ($\beta\text{-Fe}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$) bien pudiera ser uno de los productos de corrosión iniciales presentes en nuestras piezas.

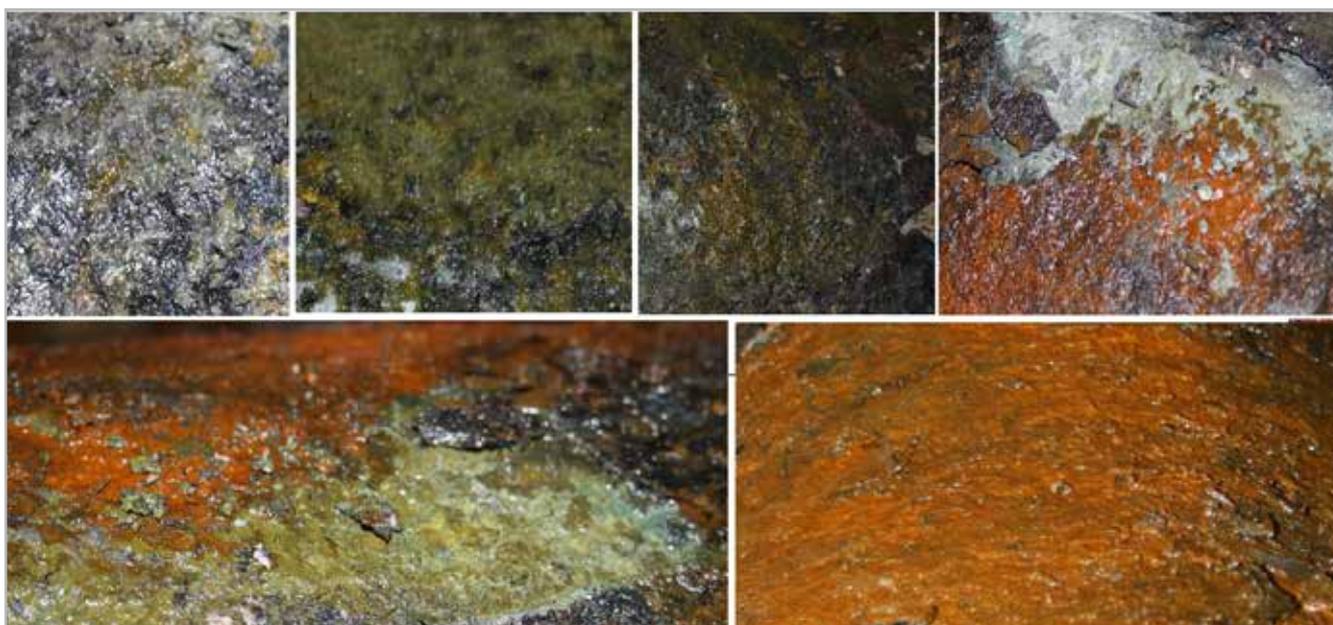


Figura 7.- Cambios de color en la superficie del metal expuesto a la atmósfera inmediatamente después de su desconcreción. Fotografías tomadas en un periodo de 22 minutos. Ordenadas de arriba abajo y de izquierda a derecha. Fotografías de archivo de Aula3 AIP S.L.

Por otro lado, las hidroxisales de Fe(II) y Fe(III), comúnmente denominadas "green rust" (GR) (Bernal *et al.* 1959), son hidróxidos muy reactivos. Estudiados especialmente en el área de la corrosión, se puede distinguir entre GR1 — formado generalmente en presencia de Cl^- y CO_3^{2-} — y GR2, formado en presencia de aniones como el SO_4^{2-} (Génin *et al.* 2006). Varios autores han identificado la formación de GR1(SO_3^{2-}) y GR2(SO_4^{2-}) en piezas de origen marino procedentes de contextos anaeróbicos, así como la presencia localizada de GR1(Cl^-), al introducir las piezas de origen marino en medios alcalinos, sea por la oxidación de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ o $\beta\text{-Fe}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$, o bien por su precipitación directa en presencia de Fe^{3+} y Fe^{2+} (Génin *et al.* 1993; Olowe *et al.* 1989; Stampfl *et al.* 1969). Asimismo, se describe como una práctica común la oxidación, en presencia de aire, de hidróxidos ferrosos $\text{Fe}(\text{OH})_2$ —obtenidos mediante la inmersión de sales ferrosas en disoluciones de NaOH y combinados con iones de Cl^- , SO_4^{2-} o CO_3^{2-} — para obtener óxido verde sintético (GRs), reconocido como un producto intermedio durante el proceso de oxidación del hierro en medios acuosos (Génin *et al.* 1998; Refait *et al.* 1997).

A este respecto, una investigación reciente realizada en piezas de hierro de procedencia marina ha estudiado el efecto del O_2 disuelto en disoluciones alcalinas aireadas y sin airear, identificando los productos de corrosión resultantes durante los tratamientos de estabilización (Kergourlay *et al.* 2018). Para ello, el autor monitorizó *in situ* la evolución de las capas de corrosión compuestas por $\beta\text{-Fe}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ de las piezas, las cuales habían sido halladas en contextos anaeróbicos y sumergidas tras su extracción en una disolución de NaOH 5M, pH de 13,5 a temperatura ambiente. Los resultados, expuestos mediante mapas realizados con micro-difracción de rayos X (μXRD), en periodos de entre 23 y 56 minutos, mostraron la transformación del $\beta\text{-Fe}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ en $\text{Fe}(\text{OH})_2$ y Fe_3O_4 en medios alcalinos no aireados, así como la formación de estos mismos óxidos e hidróxidos junto con la aparición local de GR1(Cl^-) en disoluciones alcalinas aireadas.

Por tanto, atendiendo a la naturaleza de las piezas tratadas en nuestro trabajo (hierro arqueológico), el contexto en el que fueron halladas (medio marino anaeróbico) y las condiciones de temperatura y alcalinidad a las que fueron sometidas durante su pasivación y desconcreción, sería razonable considerar que tanto las afloraciones mostradas en la figura 6, como las alteraciones de color recogidas por la figura 7, pudieran ser productos derivados de la evolución de las capas de corrosión compuestas por $\beta\text{-Fe}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ en medios alcalinos. Estas imágenes resultan de especial interés y originalidad debido a la fugacidad de tales reacciones químicas. En todo caso, sería recomendable abordar estudios específicos a fin de contrastar la hipótesis expuesta.

— *Herramientas específicas, técnica de estabilización de urgencia y tratamiento electrolítico*

Las bases de trabajo giratorias no solo facilitaron la

ergonomía de los técnicos responsables de la desconcreción de los cañones, sino que agilizaron el proceso en sí mismo. Estas bases resistieron con robustez las cargas y vibraciones a las que fueron sometidas. Las ruedas que acogían las piezas facilitaron tanto el apoyo como el giro de los cañones, no causándoles daño alguno independientemente de la longitud y anchura de los mismos. Tras la limpieza mecánica de los cañones no se observaron registros documentales en sus superficies.

La barrena de alta presión consiguió realizar una limpieza precisa de las ánimas de los cañones, sin dejar marcas en las mismas; como muestra del óptimo rendimiento del sistema, el CAS solicitó la colaboración de la empresa para la limpieza de una pieza similar extraída durante una campaña del *Proyecto Trafalgar*. Dicha colaboración tuvo como resultado la recuperación de un saquete de metralla compuesto por 20 balas de pequeño calibre (Bethencourt y Zambrano 2011).

La técnica de estabilización de urgencia mantuvo las piezas empapadas en la disolución alcalina a lo largo de tres días. Este resultado es especialmente interesante ya que revela la efectividad de la misma en condiciones de temperatura ambiental media-alta, validando así su potencial aplicación a pie de obra en piezas de gran envergadura de origen marino. En un trabajo reciente se ha planteado como novedad la aplicación de un procedimiento similar al nuestro para hierros inamovibles consistente en la aplicación de NaOH mediante envolturas de material absorbente (Veneranda 2021), utilizado normalmente para la extracción de iones cloruro en piedra (Pozo A., J. S. *et al.* 2016), demostrando la originalidad de la técnica aplicada en su momento en nuestras piezas.

Los tratamientos electrolíticos de los cañones resultaron efectivos y tuvieron una duración de entre 9 y 11 meses, dándose por concluidos cuando las lecturas de la concentración de Cl^- se estabilizaron en valores de 80 ± 20 ppm.

— *Fin del tratamiento y divulgación*

Las fases finales del tratamiento de restauración de las piezas no son objeto de este trabajo, habiendo sido realizadas por un equipo de profesionales diferente al que presenta este artículo. Según comunicación personal, las piezas se neutralizaron con baños de agua desionizada y se secaron mediante la aplicación de acetona, quedando a continuación expuestas al aire. Posteriormente, se aplicó una disolución de ácido tánico en alcohol metílico al 3% (p/v). Por último, se aplicó una capa protectora de Inrcal 44 mediante pulverizado.

La restauración de este grupo de piezas arqueológicas y su gestión posterior generaron el interés popular, que se evidenció mediante su divulgación a través de titulares en prensa local y regional, así como en los informativos de la cadena de televisión regional en Andalucía [Figura 8].



Figura 8.- Fotografía de archivo de los cañones recién restaurados extraída de la edición del 9 de junio de 2011 del Diario de Jerez (fondo). Repercusión mediática (derecha).

Conclusiones y consideraciones finales

Por la envergadura de las tareas realizadas, el trabajo descrito supone un hito en el tratamiento simultáneo de conservación de piezas histórico-arqueológicas, de artillería pesada de procedencia subacuática. Las cubas y las herramientas de bajo coste específicamente desarrolladas —barrena de alta precisión y bases de trabajo giratorias—, así como la técnica de estabilización de urgencia utilizada, demostraron su efectividad a lo largo del tratamiento agilizando las tareas realizadas. Además, un estudio comparativo previo, realizado en piezas procedentes del mismo hallazgo, permitió comprobar la mayor eficiencia de $50 \mu\text{Acm}^{-2}$ frente a $1000 \mu\text{A cm}^{-2}$ como densidad de corriente a aplicar en el posterior tratamiento electrolítico. Desde nuestro punto de vista, el conjunto de tales singularidades, enmarcado en un contexto de bajo presupuesto, convierten las labores de conservación descritas en una referencia para futuras actuaciones homólogas.

Materiales y proveedores

Medidor pH modelo Phep 4. HANNA INSTRUMENTS S.L.

Titrador SALT-matic 23. CRISON Instruments, SA.

Desmineralizador modelo Lunik 2002. Termómetro modelo Key. Micro-cinzel Modelo CTS 178. Vibro-incisor Modelo CTS F1. Fuente de alimentación Tti CPX200 DUAL. En C.T.S. ESPAÑA.

Fuentes de alimentación ajustables HQ Power PS1503SB de 0-15V y 3A. <https://www.velleman.eu>

Electrodo de referencia CRISON 52-40 Ag/AgCl. CRISON Instruments, SA.

Agradecimientos

A todas y cada una de las personas que formaron parte del equipo de trabajo, a los revisores anónimos por la aportación de perspectiva que sirvió para mejorar el trabajo y al Laboratorio de Estudios y Conservación del Patrimonio Histórico (LEC-PH) de la UCA, financiado por FEDER-MICIN EQC2018-004947-P.

Referencias

GOBIERNO DE MÉXICO, INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA (INAH). "Aplican tratamiento a cañones centenarios de Campeche". <https://inah.gob.mx/boletines/1065-aplican-tratamiento-a-canones-centenarios-de-campeche>

BERNAL, J.D., DASGUPTA, D., RMACKAY, A.L. (1959). "The oxides and hydroxides of iron and their structural interrelations". En *Clay Miner. Bull*, 4: 15-30.

BERTHOLON, R AND RELIER C. (1990). "Les métaux archéologiques". En *La conservation en archéologie. Méthodes et pratique de la conservation-restauration des vestiges archéologiques*, Masson, Paris, France, 163-22.

BERTHOLON, R. (2001). "Nettoyage stabilisation de la corrosion par électrolyse". En *La conservation des métaux*, Volfovsky, C. (Coord.) Paris. CNRS EDITIONS, 83-101.

- BETHENCOURT, M Y ZAMBRANO, L. (2011). "Análisis de cloruros en la zona grafitizada de un cañón de hierro procedente del pecio Bucentaure (La Caleta, Cádiz) tratado mediante polarización catódica de baja intensidad". En *IV Congreso Latinoamericano de Conservación y Restauración de Metal*, Madrid, 256-270. <https://doi.org/10.13140/2.1.4906.7849>
- BURSHNEVA, S. AND SMIRNOVA, N., (2010). "Archaeological Iron Conservation Colloquium" –Extended Abstracts Session 3: Alkaline Chloride Extraction, State Academy of Art and Design, Extended Abstracts, 24th to 26th June Stuttgart, Germany.
- CARLIN, W., KEITH, D. AND RODRÍGUEZ, J. (2001). "Less is more: measure of chloride removal rate from wrought iron artifacts during electrolysis". En *Studies in Conservation*, 46: 68-76.
- COELHO, J.C. (2010). "Estudo da eficiência de técnicas electroquímicas na remoção de cloretos em amostras de uma bala de canhão proveniente de um naufrágio do séc. XVIII", Dissertações de Mestrado, Repositório da Universidade de Lisboa, Comunidades & Coleções, Faculdade de Ciências (FC).
- COELHO, J.C., OLIVEIRA, C.M., CARVALHO M. D. AND FONSECA I.T.E. (2014). "The efficiency of electrochemical methods for the removal of chloride ions from iron marine archaeological objects: A comparative study". En *Materials and Corrosion*, 65(1): 38-44. <https://doi.org/10.1002/maco.201206584>
- CORNELL, R. AND GIOVANNOLI, R. (1986). "Factors that govern the formation of multi-domainic goethites". En *Clays and Clay Minerals*, 34(5): 557–564. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1986.0340509>
- DEGRIGNY, A., (2010). "Use of electrochemical techniques for the conservation of metal artefacts: A review", En *Journal of Solid State Electrochemistry* 14(3):353-361. <https://doi.org/10.1007/s10008-009-0896-0>
- DOMÉNECH-CARBÓ A., DOMÉNECH-CARBÓ M.T. AND COSTA V. (2009). "Electrochemical methods in Archaeometry, Conservation and Restoration", En *Series: Monograph in Electrochemistry* (Ed. F. Scholz), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, 166.
- GÉNIN J.M.R., BOURRIÉ G., TROLARD F., ABDELMOULA M., JAFFREZIC A., REFAIT P., MAITRE V., HUMBERT B., HERBILLON A. (1998). "Thermodynamic equilibria in aqueous suspensions of synthetic and natural Fe(II)-Fe(III) green rusts: occurrences of the mineral in hydromorphic soils". En *Environ Sci. Technol*, 32: 1058-1068. <https://doi.org/10.1021/es970547m>
- GÉNIN, J.M.R.; OLOWE, A. A.; RÉSIK, B.; BENBOUZID-ROLLET, N. D.; CONFENTE, M.; PRIEUR, D. (1993). "Marine corrosion of stainless steels: chlorination, and microbial effects". En *European Federation Corrosion Series*; The Institute of Materials: London, 10:162-166.
- GÉNIN J.M.R., ABDELMOULA, M., RUBY, C AND UPADHYAY C. (2006). "Speciation of iron; characterisation and structure of green rusts and FeII-III oxyhydroxycarbonate fougérite". En *C. R. Geoscience* 338: 402-419. <https://doi.org/10.1007/s10751-011-0500-8>
- GIL, M.L.A., SANTOS, A., BETHENCOURT, M., GARCÍA, T., FERNÁNDEZ-BASTERO, S., VELO, A., GAGO-DUPOR L. (2003). "Use of X-ray and other techniques to analyse the phase transformation induced in archaeological cast iron after its stabilisation by the electrolytic method". En *Analytica Chimica Acta*, 494: 245–254. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2003.08.012>
- HAMILTON, D. (1997). "Basic Methods of Conserving Underwater Archaeological Material Culture". Nautical Archaeology Program, Department of Anthropology, Texas, A&M University.
- KERGOURLAYA F., RÉGUERB S., NEFFA D., FOYA E., PICCAB F.E., SAHEBC M., HUSTACHEBS., MIRAMBETDF., DILLMANNA P. (2018). "Stabilization treatment of cultural heritage artefacts: In situ monitoring of marine iron objects dechlorinated in alkali solution". En *Corrosion Science*, 132: 21-34. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2017.12.028>
- LARA-MARTÍN P.A., GÓMEZ-PARRA A., PETROVIC M., BARCELÓ D., GONZÁLEZ-MAZO E. (2005). "Distribution of organic pollutants in coastal sediments of Cádiz Bay (SW Spain)". En *Ciencias Marinas* 31(1B): 203–212. <https://doi.org/10.7773/cm.v31i12.95>
- MINISTERIO ESPAÑOL DE CULTURA Y DEPORTE. "Proyecto Nuestra Señora de las Mercedes". <http://www.culturaydeporte.gob.es/mnarquia/investigacion/proyectos/nsm.html> [Consulta: 05/11/2019].
- OLOWE, A. A.; BAUER, PH.; GÉNIN, J.-M. R.; GUE'ZENNEC, J. (1989). "Moessbauer Effect Evidence of the Existence of Green Rust 2 Transient Compound from Bacterial Corrosion in Marine Sediments". En *Corrosion*, 45 (3): 229–235. <https://doi.org/10.5006/1.3577848>
- PLENDERLEITH, H. J. (1956). *The Conservation of Antiquities and Works of Art*. London. Oxford University Press.
- POZO A., J. S.; RIVAS, T.; LÓPEZ, A. J.; FIORUCCI, M. P.; RAMIL, A. (2016). "Effectiveness of granite cleaning procedures in cultural heritage: A review". *Sci. Total Environ*, 571: 1017–1028. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.090>
- RAMOS GIL, A. (2015). "Recuperación de 16 cañones del siglo XVIII, y su puesta en valor en las murallas de Cádiz". En *Actas del II Congreso de Conservación y Restauración del Patrimonio Metálico. MetalEspaña 2015*. Real Casa de Moneda, Segovia, 200-205.
- REFAIT, PH.; GÉNIN, J. M. R. (1997). "Mechanisms of oxidation of Ni(II)-Fe(II) hydroxides in chloride-containing aqueous media: role of the pyroaurite-type Ni-Fe hydroxychlorides" En *Clay Minerals* 32(4): 597-613
- RÉMAZEILLES C., NEFF D., KERGOURLAY F., FOY E., CONFORTO E., GUILMINOT E., REGUER S., REFAIT PH., DILLMANN PH. (2009). "Mechanisms of long-term anaerobic corrosion of iron archaeological artefacts in seawater". En *Corrosion Science*, 51: 2932-2941. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.08.022>
- RIMMER, M., WATKINSON, D. AND WANG, Q. (2013). "The impact of chloride desalination on the corrosion rate of archaeological iron". En *Studies in Conservation*, 58(4): 326-337. <https://doi.org/10.1179/2047058412Y.0000000068>

SCMUTZLER B. AND EBINGER-RIST, B.N. (2008). "The conservation of iron objects in archaeological preservation – Application and further development of alkaline sulphite method for conservation of large quantities of iron finds". En *Materials and Corrosion*, 59(3), 248-245. <https://doi.org/10.1002/maco.200804109>

SELWYN, L. (2004). "Overview of archaeological iron: the corrosion problem, key factors affecting treatment, and gaps in current knowledge", Metal 04: Proceedings of the International Conference on Metals Conservation, Canberra, Australia, 4-8 October 2004, 294-306.

STAMPFL, P. P. (1969). "Ein basisches eisen-II-III-karbonat in rost". En *Corrosion Science*, 9:185-187. [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(69\)80029-6](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(69)80029-6)

UNESCO (2001). Convención de la Unesco. La Protección del Patrimonio Cultural Subacuático. París. http://portal.unesco.org/es/ev.php-URL_ID=13520&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html [Consulta: 08/10/2019].

VENERANDA, M., PRIETO-TABOADA, N., CARRERO, J.A. COSTANTINI, I., LARRAÑAGA, A., CASTRO, K., ARANA G. AND MADARIAGA, J.M. (2021). "Development of a novel method for the in-situ dechlorination of immovable iron elements: optimization of Cl- extraction yield through experimental design". En *Scientific Reports*, 11:10789. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90006-y>

WANG, Q., (2007). An Investigation of Deterioration of Archaeological Iron". En *Studies in Conservation*, 52(2): 125-134. <https://doi.org/10.1179/sic.2007.52.2.125>

WANG, Z., XU, C., CAO, X., AND XU, B. (2007). "The Morphology, Phase Composition and Effect of Corrosion Product on Simulated Archaeological Iron". En *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 15(3): 433-438. [https://doi.org/10.1016/S1004-9541\(07\)60104-9](https://doi.org/10.1016/S1004-9541(07)60104-9)

WATKINSON, D. AND A. AL-ZAHRANI, A. (2008). "Towards quantified assessment of aqueous chloride extraction methods for archaeological iron: De-oxygenated treatment environments". En *The Conservator*, 31: 75-86. <https://doi.org/10.1080/01410096.2008.9995234>

Autor/es



Inmaculada Sánchez Pedreño
puracsp@gmail.com
Aula3 Actuaciones Integrales sobre el Patrimonio S.L.
<https://orcid.org/0000-0003-3670-8820>

Inmaculada Sánchez Pedreño es Licenciada en BBA por la Universidad de Sevilla y Master en Patrimonio Histórico Arqueológico por la Universidad de Cádiz. Realizó su proyecto de master titulado: "La Restauración de Bienes Culturales Subacuáticos: Técnicas Básicas para Madera, Hierro y Bronce". Desde el año 2005 hasta el 2012 se ha formado realizando cursos dirigidos de manera específica a la conservación y restauración del Patrimonio Cultural Subacuático en instituciones como el Centro de Arqueología Subacuática de

Andalucía (CAS) y el Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya. Ha asistido a jornadas de Museología en el ARQUA y participado en cursos de postgrado como el VIII Postgraduate Course "Silicon Plastination Technique (S10)", realizado por la Universidad de Murcia. Fue becada por el CAS para participar en el proyecto del programa Interreg ARCHEOMED en el año 2008. Su experiencia profesional ha sido desarrollada como restauradora en el Museo Naval de San Fernando en Cádiz durante periodos comprendidos entre el 2006 y el 2013 y como directora y coordinadora del departamento de restauración de Aula3 AIP S.L. entre los años 2009 y 2011. Participó como ponente en el congreso MetalEspaña2020 y actualmente trabaja como profesional independiente y colabora con la Facultad de Letras de la Universidad de Oporto (FLUP) y con la Bridge Collection del WOW (World of Wine) en Vila Nova de Gaia, Portugal.



Ignacio Salas Pardo de Donlebún
salassignacio@gmail.com
Aula3 Actuaciones Integrales sobre el Patrimonio S.L.

Ignacio Salas Pardo de Donlebún es Licenciado en CC de la Información por la Universidad Complutense de Madrid y Master en Patrimonio Histórico Arqueológico por la Universidad de Cádiz. Socio fundador de la empresa Aula3 Actuaciones Integrales sobre el Patrimonio, ha realizado el curso *Restauración de Material Arqueológico Subacuático* por el Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya del Museo d'Arqueologia de Catalunya, el curso "Construcción Naval: su registro Arqueológico", realizado por el Instituto Andaluz de Patrimonio y el VIII Postgraduate Course "Silicon Plastination Technique (S10)", realizado por la Universidad de Murcia en el año 2009. Como periodista, ha acompañado los acontecimientos relacionados con la Arqueología Subacuática en España desde el año 2000. Actualmente trabaja para los informativos de Canal Sur en C/ Carpinteros de Ribera, 2, CP 11012 Cádiz.



Juan Francisco García Amado
garcia_amado@hotmail.com
Airbus Operations

Juan Francisco García Amado es Titulado en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Cádiz. Especialista en construcción de maquinaria Con formación especializada en metrología industrial trabajó durante 8 años en taller de mecanizado de precisión diseñando mejoras en maquinaria industrial para General Motors. Cuenta con 4 años de experiencia en inspección de utillajes aeronáuticos. Apasionado de la arqueología subacuática, ha colaborado asesorando y diseñando maquinaria específica en actuaciones dirigidas a la conservación y restauración del PCS realizadas por la empresa Aula3 AIP S.L. entre los años 2009 y 2011. Hace 15 años que trabaja en automatización de procesos y robótica en Airbus Operations: Calle Portugal, 9. 11519 Puerto Real, Cadiz, Spain.

**Santos García Trigo**

sgtrigo@gmail.com

Aula3 Actuaciones Integrales sobre el Patrimonio S.L.

Santos García Trigo es Licenciado en Derecho. Especialista en Derecho Medioambiental por la Universidad de Educación a Distancia (UNED) y Master en Patrimonio Histórico Arqueológico por la Universidad de Cádiz. Apasionado de la arqueología subacuática ha sido socio fundador de la empresa Aula3 Actuaciones Integrales sobre el Patrimonio y redactando del proyecto de Reglamento de Arqueología Subacuática de la Republica de Cabo Verde, encargado por la Agencia Española de Cooperación Internacional, en colaboración con el CAS en el año 2009. Colaborador habitual y asesor del departamento de restauración de Aula3 AIP S.L. Actualmente es delegado en Delegación del ISFAS en Soria. Rda/ Eloy Sanz Villa 8. 42003 Soria.

Artículo enviado el 21/02/2021

Artículo aceptado el 16/12/2021


<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.970>
**Manuel Bethencourt Núñez**

manuel.bethencourt@uca.es

 Universidad en el Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica de la Universidad de Cádiz
<https://orcid.org/0000-0002-0488-7097>

Manuel Bethencourt Núñez es Catedrático de Universidad en el Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica de la Universidad de Cádiz. Su investigación se ha circunscrito en general al estudio de los procesos de corrosión de aleaciones metálicas en medio marino, al desarrollo de métodos de protección de bajo impacto ambiental y a estudios arqueométricos. Otras líneas de investigación han sido el desarrollo de nuevas técnicas electroquímicas para el estudio de los procesos de corrosión, especialmente el Ruido Electroquímico, y el desarrollo de recubrimientos de oxinitruros de circonio. Ha publicado un total de 103 trabajos. De estos, un número importante están indexados con índice de calidad relativa: 69 en JCR, 77 en Web of Science, u 80 en Scopus. 18 son artículos en publicaciones científicas con índice de calidad relativa y 16 son libros o capítulos de libros en investigación. Su índice h es 24. Ha presentado 126 trabajos presentados en 72 congresos, la mayoría publicados en libros con ISBN, y es autor de 2 Patentes Internacionales y 2 Registros de la Propiedad Intelectual (software). Investigador responsable de 7 proyectos de investigación (1 europeo, 5 nacionales y 1 autonómico), numerosos contratos de investigación para la industria y tres solicitudes de grandes infraestructuras científicas en programas de incentivos FEDER. También ha participado como investigador en los equipos de 15 proyectos de investigación nacionales, regionales y europeos, y en 19 contratos de investigación. Ha dirigido 6 Tesis Doctorales, 9 Trabajos Fin de Máster, 3 Tesis de Licenciatura, y 2 Proyectos Finales de Ingeniería. Actualmente dispone de 4 tramos o sexenios de investigación y 1 de transferencia. Ha sido Vicerrector de Investigación y Transferencia de la UCA (2011-2015).

Estudio de los efectos del fuego en las tablas del Maestro de san Narciso - Franci Joan (1481-1515) de la Iglesia Catedral Basílica Metropolitana de Valencia

Livio Ferrazza, David Juanes Barber, Greta García Hernández, Inmaculada Chuliá Blanco, José Antonio Madrid García, Lila Jurado Valdivia

Resumen: En este trabajo se presentan los estudios realizados por el Institut Valencià de Conservació, Restauració i Investigació (IVCR+i) en dos pinturas sobre tabla, que integrarían parte de la predela del Retablo de san Narciso, encargado a Franci Joan (1481-1515) el 7 de diciembre de 1503 por la Cofradía de san Narciso. Las obras forman parte del conjunto de tablas de la Iglesia Catedral Basílica Metropolitana de Valencia que fueron gravemente afectadas por el incendio de 1936, por lo que presentan una superficie totalmente oscurecida que hace imposible obtener información sobre la imagen original, color y técnica de ejecución. Los objetivos de este estudio fueron esclarecer los aspectos artísticos-tecnológicos de la pintura del Maestro de san Narciso-Franci Joan y por otro lado, realizar un estudio sobre los mecanismos de alteración de los materiales pictóricos por efectos de las altas temperaturas, basándose en los resultados de los estudios microscópicos (MO vis-UV, SEM), espectroscópicos (EDX, FTIR-ATR), o como puede ser la macro fluorescencia de rayos X (MA-FRX) o la radiografía digital. Estos resultados permitirán establecer, en una segunda fase de trabajo, un protocolo de actuación frente a las metodologías de intervenciones de estabilización y de limpieza más adecuadas.

Palabras clave: pintura quemada, identificación pigmentos, MA-FRX, SEM-EDX, FTIR-ATR, radiografía digital

Study of the effects of fire on the tables of the Master of san Narciso - Franci Joan (1481-1515) of the Metropolitan Basilica Cathedral Church of Valencia

Abstract: This work presents the studies carried out by the Institut Valencià de Conservació, Restauració i Investigació (IVCR+i) in two paintings on panels, which would be part of the Altarpiece of san Narciso, commissioned to Franci Joan (1481-1515) on December 7, 1503 by the Brotherhood of san Narciso. The works are part of the set of panels of the Metropolitan Basilica Cathedral Church of Valencia that were seriously affected by the fire in 1936, so they present a totally darkened surface that makes it impossible to obtain information on the original image, color and execution technique. The objectives of this study were to clarify the artistic-technological aspects of the painting of the Master of Saint Narcissus-Franci Joan and, on the other hand, to carry out a study on the mechanisms of alteration of pictorial materials due to the effects of high temperatures, based on the results of microscopic studies (OM vis-UV, SEM), spectroscopic (EDX, FTIR-ATR), or as may be the macro X-ray fluorescence (MA-FRX) or digital radiography. These results will make it possible to establish, in a second phase of work, an action protocol against the most suitable stabilization and cleaning intervention methodologies.

Keywords: burnt paint, pigment identification, MA-XRF, SEM-EDX, FTIR-ATR, digital X-ray

Estudo dos efeitos do fogo nas tábuas do Mestre de São Narciso - Franci Joan (1481-1515) da Igreja Catedral Basílica Metropolitana de Valencia

Resumo: Neste trabalho são apresentados os estudos realizados pelo Institut Valencià de Conservació, Restauració i Investigació (IVCR+i) em duas pinturas sobre tábua, que integrariam parte da predela do Retábulo de São Narciso, encomendado a Franci Joan (1481-1515) 7 de dezembro de 1503 pela Confraria de São Narciso. As obras fazem parte do conjunto de tábuas da Igreja Catedral Basílica Metropolitana de Valência que foram gravemente afectadas pelo incêndio de 1936, pelo que apresentam uma superfície totalmente obscurecida que torna impossível obter informações sobre a imagem original, cor e técnica de execução. Os objetivos deste estudo foram esclarecer os aspectos artísticos-tecnológicos da pintura do Mestre de São Narciso-Franci Joan e, por outro lado, realizar um estudo sobre os mecanismos de

alteração dos materiais pictóricos por efeitos das altas temperaturas, com base nos resultados dos estudos microscópicos (MO vis-UV, SEM), espectroscópicos (EDX, FTIR-ATR), ou como pode ser a macro fluorescência de raios-X (MA-FRX) ou a radiografia digital. Estes resultados permitirão estabelecer, numa segunda fase de trabalho, um protocolo de actuação contra as metodologias de intervenções de estabilização e de limpeza mais adequadas.

Palavras-chave: pintura queimada, identificação pigmentos, MA-FRX, SEM-EDX, FTIR-ATR, radiografia digital

Introducción

Durante la Guerra Civil (1936-1939), la Iglesia Catedral Basílica Metropolitana de Valencia, al igual que otros muchos edificios religiosos de la ciudad, fue saqueada e incendiada. El incendio iniciado el 21 de Julio de 1936 afectó gravemente al ala derecha de la Girola, donde se encontraban la Sacristía Mayor, la Sala de la Sacristía, la Sala del Tesoro, el Archivo y el Museo, es decir las estancias con más patrimonio histórico-artístico. El foco de calor iniciado en la Sacristía Mayor se propagó hasta la escalera del archivo, cuya pared derecha conecta con el muro izquierdo de la Sala Capitular. Allí la temperatura se transmitió a modo de *horno*, calentándose unas paredes más que otras de modo que solo algunas de las obras de interés artístico que se conservaban, se carbonizaron por completo (Gómez 2001). Una vez sofocado el incendio, *quedó todo cubierto por una capa negruzca, espesa y pegajosa* (de Sales Ferri Chulio 2013: 21).

Tras el incendio muchas obras fueron recuperadas de los escombros y posteriormente pasaron a manos de las Juntas de Incautación y tras varios años, durante los cuales cambian de manos varias veces, son almacenadas junto a otras obras en un cuarto de la catedral. Allí son descubiertas en 1991, año en que empiezan a ser investigadas para su recuperación. Las obras objeto del estudio son dos pinturas sobre tabla afectadas por el incendio (69 × 56 cm aprox.), que en base a la identificación iconográfica inicial que realiza Gómez Rodrigo, a partir de unas guías de la catedral previas a la Guerra Civil y varias fotos antiguas de la Sala Capitular (Gómez 2001), representan: *san Buenaventura y san Vicente Ferrer y la Virgen, el Niño y santa Ana* [Figura 1 a-b]. La investigación histórica recabó información sobre las pinturas, hallándose fotografías de archivo de ambas pinturas. Recientemente, los estudios de Marta Torregrosa (Torregrosa 2014), asigna la tabla de *san Buenaventura y san Vicente Ferrer* a la predela del Retablo de san Dionisio Entronizado (Valencia, 1500-1502) cuyos autores son Rodrigo de Osona (1440-1518) y Francisco de Osona (1465-1514?).

Ambas obras llegaron al Institut Valencià de Conservació, Restauració i Investigació (en adelante IVCR+i) en 2015 para su estudio en vistas de una posible intervención [Figura 1 c-d]. Se inició el estudio de las tablas con su registro fotográfico, estudio radiográfico, caracterización de materiales y estudio de la técnica pictórica. Asimismo se abarcó un estudio científico para determinar los mecanismos de alteración y degradación de los

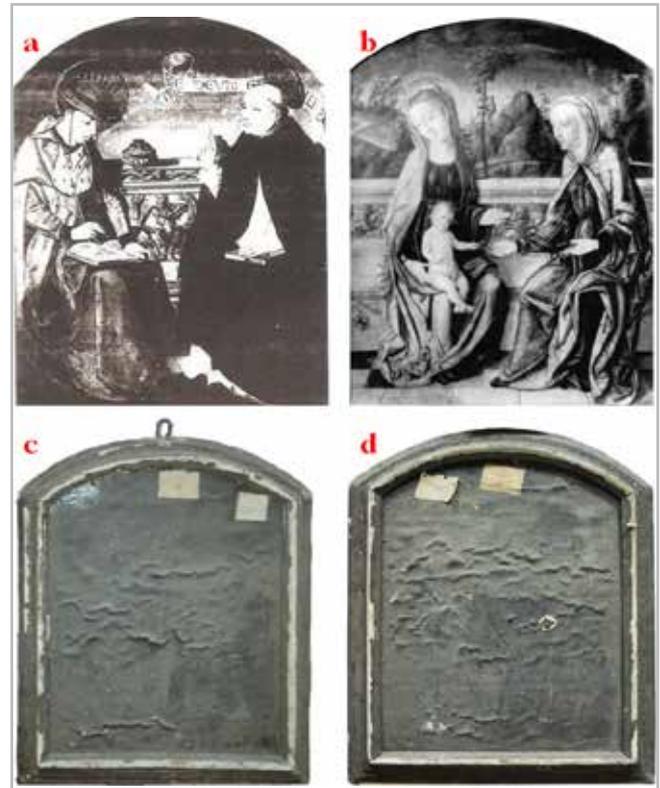


Figura 1.- a-b) Fotografías de las tablas de *san Buenaventura y san Vicente Ferrer y de la Virgen, el Niño y santa Ana*. Fuente: Gómez Rodrigo y Archivo Mas. c-d) Tablas identificadas por Gómez como *san Buenaventura y san Vicente Ferrer y la Virgen, el Niño y santa Ana*. Fuente: IVCR+i.

materiales pictóricos por efecto del calor. Varios estudios demuestran importantes cambios en las propiedades químicas, físicas y ópticas de pigmentos, aglutinantes y cargas minerales, así como alteraciones estructurales en la pintura por formaciones de grietas, ampollas, disgregación y pérdida de material pictórico (Kleitz *et al.* 2003, Arroyo *et al.* 2009). Entre las finalidades de esta investigación destaca el estudio sobre la técnica pictórica del Maestro de san Narciso-Franci Joan, al cual se atribuyen actualmente la autoría de las tablas (Tormo y Monzó 1933), asimismo estudiar los mecanismos de alteración de los materiales pictóricos por efectos de las altas temperaturas. Los resultados alcanzados en esta primera fase de estudio, además permitirán elaborar un protocolo de trabajo y una metodología científica necesaria para la correcta evaluación sobre la aplicabilidad, eficacia y riesgo en las intervenciones de estabilización –consolidación y adhesión– y de limpieza en obras pictóricas que hayan sufrido mecanismos de alteración por incendios (Gómez 1998, Boissonnas 1963,

Gálvez 1990). Además de desarrollar una metodología de análisis científico, basándose en los resultados de los estudios microscópicos (MO vis-UV, SEM), espectroscópicos (EDX, FTIR-ATR), o como puede ser la macro fluorescencia de rayos X (MA-FRX) o la radiografía, contrastando la información con otras tablas del retablo, que se encuentran actualmente en el museo de la Catedral de Valencia, y no se vieron involucradas en las altas temperaturas del incendio. La reconstrucción virtual del cromatismo original de las tablas, que puede ser una herramienta útil a la hora de la intervención de una limpieza extremadamente complicada, así como una guía visual que permita a los técnicos restauradores tener un control espacial sobre las áreas a limpiar (Antonopoulou-Athera *et al.* 2018, Tahk 1979).

Técnicas de análisis y metodología

La observación ocular de las tablas permitió constatar el precario estado de conservación de la pintura con alteración del cromatismo por la presencia de una pátina negruzca superficial que impide por completo su correcta lectura iconográfica. A partir de esta situación se planteó estudiar las obras mediante registro fotográfico, seguido por los exámenes no invasivos, como es la radiografía y fluorescencia de rayos X, más los estudios microscópicos y espectroscópicos de laboratorio mediante extracción de micromuestras (Peris 2007). Los análisis y la metodología científica aplicados en el estudio previo han sido precisos para determinar aspectos artísticos-tecnológicos de la pintura gótica valenciana y los mecanismos de alteración que han sufrido los materiales pictóricos por efectos de las altas temperaturas (Ketnath 1978, Robles 2013).

— Fotografía visible

Se realizó el estudio fotográfico de las obras empleando luz visible frontal y rasante empleando una cámara Reflex Nikon D7100 y objetivo AF-S DX NIKKOR 18-140 mm f/3.5-5.6G ED VR, con el objetivo de documentar el estado de conservación inicial y observar las deformaciones que presentan las superficies de las dos pinturas.

— Radiografía

Se realizó la radiografía de ambas tablas con el objetivo principal de comprobar la presencia de pintura debajo de la capa negruzca de la superficie, o por si el contrario el efecto del incendio había deteriorado totalmente o parcialmente la pintura. Además, el estudio radiográfico puede aportar datos importantes a la hora de realizar la reconstrucción virtual del cromatismo de las tablas, basándose en el diferente grado de absorción de rayos X que presentan los pigmentos en base a su composición química (Bustinduy 2001, Antelo *et al.* 2008). Asimismo, con las radiografías de estas tablas, conjuntamente con

otras tablas que se conservan en la catedral, es posible en un futuro realizar una reconstrucción de la secuencia iconográfica, con la disposición de la predela al completo. Las radiografías se realizaron en el Laboratorio de Inspección Radiológica del Instituto Universitario para la Restauración del Patrimonio, en la Universitat Politècnica de Valencia. El equipo usado para la obtención de la radiografía fue un TRANSXPORTIX 50 de General Electric®, con un tubo de rayos X de 3 kW y un foco de 2,3 con solo una filtración total de 2 mm de aluminio. Las placas empleadas fueron de tipo digital mediante un chasis radiográfico CR MDT4.0T (Agfa), digitalizadas posteriormente mediante una estación CR 30-X (Agfa). La imagen final la componen, a modo de mosaico, 9 placas radiográficas de 35 × 45 cm. Los parámetros de exposición en todas las placas fueron: un voltaje de 56 kV y 20 mA de intensidad por disparo, con una duración de 3" por exposición. La distancia entre la fuente de rayos X y el objeto, establecida para poder irradiar toda la superficie fue de 260 cm.

— Macro Fluorescencia de rayos X (MA-FRX)

Los análisis se realizaron con la finalidad de obtener datos sobre los colores originales de las tablas. Se establecieron, en base a los estudios radiográficos, áreas de análisis de 10 x 10 cm que fueron analizadas mediante el espectrómetro ELIO XRF de XGLab S.R.L. acoplado a un sistema motorizado XY, con un paso de 1 mm y unas condiciones de trabajo de 40 kV, 30 microA y 1 s para cada punto del escaneado. El equipo está compuesto por un tubo de rayos X de paladio que genera un spot de 1 mm de diámetro a una distancia de trabajo de 1.4 mm. Los rayos X emitidos son detectados con un detector SDD con una resolución de 135 eV.

— Estudio con micromuestras

La selección de zonas de muestreo se hizo con ayuda de fotografías de archivo y posteriormente con las radiografías. La elección se basó en la posibilidad de identificación de distintos pigmentos y también de los productos de alteración en la superficie, así como de la preparación. Las muestras se estudiaron previamente utilizando un microscopio estereoscópico Nikon SMZ1000 con el que se realizaron microfotografías con una cámara digital Nikon DS-2Mv acoplada al microscopio. Mediante este estudio se realizó un examen general de la muestra y la selección de fragmentos representativos para su posterior estudio estratigráfico, espectroscópico, etc. Se capturaron imágenes de los fragmentos a distintos aumentos, desde 10 x hasta 80 x.

El estudio morfológico se realizó preparando las muestras en sección transversal que se observaron con un microscopio óptico Nikon modelo ECLIPSE 80i con cámara Nikon DS-Fi1, provisto de luz reflejada y polarizada e iluminación UV, con aumentos de 50 x a 200 x. Las observaciones también se realizaron con el microscopio

electrónico de barrido Hitachi Ltd, (VP-SEM), modelo S-3400N. De igual forma se observaron fragmentos de muestras colocadas directamente sobre cinta conductora en un stub de microscopía. Se capturaron imágenes en modalidad electrones retrodispersados (BSE) a distintos aumentos, desde 50x hasta 1000x. Para la identificación de los componentes inorgánicos se utilizó la técnica de microscopía electrónica de barrido – microanálisis por dispersión de energías de rayos X (SEM-EDX), empleando un equipo de Bruker Corporation XFlash® con un voltaje de aceleración 20 kV. Por último, se empleó la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en modo reflectancia total atenuada, en el intervalo 4000-400 cm^{-1} con una resolución de 4 cm^{-1} , para la identificación de los componentes orgánicos e inorgánicos empleando un espectrómetro Bruker-Tensor II con el accesorio ATR de cristal de diamante acoplado a la bancada del equipo.

Resultados y discusión

— Análisis fotográfico

Mediante el estudio fotográfico en luz visible frontal y rasante de las tablas, de manera generalizada se observa el oscurecimiento en toda la superficie, presencia de deformaciones estructurales con crestas y ampollas que son provocadas por la separación de la capa pictórica y de la preparación respecto al soporte de madera. Extensas áreas se caracterizan por la presencia de granulaciones de muy pequeñas dimensiones [detalle de la Figura 2-a], así como de lagunas en las cuales se puede identificar la preparación y la estopa usada como preparación del soporte [Figura 2-b].

— Análisis radiográfico

El análisis radiográfico de la tabla referenciada como la Virgen, el Niño y santa Ana [figura 3-a] muestra a dos figuras femeninas y al niño, sentadas con un paisaje de fondo, en el que se observan los atributos propios de su iconografía. Sin embargo, el resultado más significativo del análisis radiográfico de las dos tablas fue el error de atribución desvelado en una de las dos tablas. La radiografía de la tabla identificada y referenciada como *san Buenaventura* y *san Vicente Ferrer* [figura 3-b], muestra dos figuras femeninas sentadas con un paisaje de fondo, que no corresponden a la iconografía esperada. Se realizó una investigación iconográfica a partir de los atributos que se observan en la radiografía dando como resultado que la pintura representa a *santa Magdalena* y *santa Marta*. La imagen radiográfica permitió valorar elementos iconográficos muy característicos como en la figura de santa Marta donde se aprecia la palma del martirio en su mano izquierda [Figura 3-c] o la ligera silueta que sugiere la forma del dragón Tarasca atado a su cintura con una cadena [Figura 3-d] (Grau-Dieckmann 2010). En vista de estos resultados se realizó un estudio bibliográfico. La investigación lleva a un artículo sobre la identidad del Maestro de san Narciso, un pintor valenciano llamado Franci Joan, activo entre finales del siglo XV y principios del XVI (Gómez-Ferrer y Corbalán de Celis 2014). En este estudio aparecen fotografías de archivo de la *Predela de las Ocho Santas* que podría haber sido parte del Retablo de san Narciso, encargado a Franci Joan el 7 de diciembre de 1503 por la Cofradía de san Narciso de Valencia. En la documentación fotográfica aparecen las dos tablas analizadas junto a otras tres, formando todas ellas la *Predela de las Ocho Santas*. Esta predela se menciona en



Figura 2.- Tabla de la Virgen, el Niño y santa Ana. Detalles de a) la superficie pictórica y b) de una laguna. Fuente: IVCR+i.

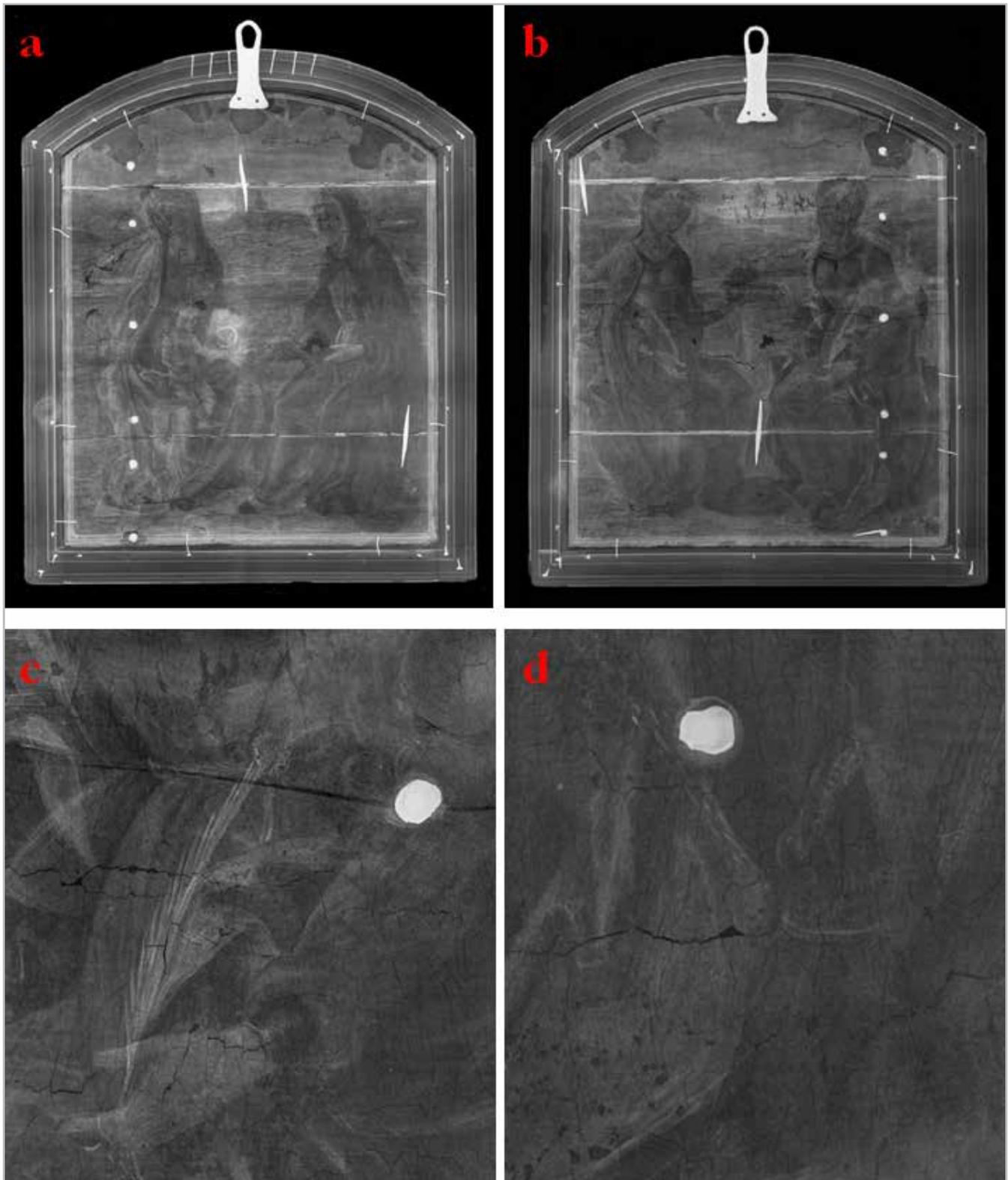


Figura 3.- a) Imagen radiográfica de la tabla *la Virgen, el Niño y santa Ana*. b) Imagen radiográfica de la tabla de *santa Magdalena y santa Marta*. Detalles de c) la palma del martirio y d) del dragón Tarasca. Fuente: José Antonio Madrid García.

una guía de la Catedral de 1932 redactada por Elías Tormo y Monzó, donde se describen las tablas de la predela, un total de cinco, y se atribuyen a la *escuela de Osona, del mejor discípulo, acaso el del retablo de san Narciso* (Tormo y Monzó 1932). Más tarde, en un libro sobre los Osona, Tormo atribuye ya con más confianza estas tablas al *Mestre*

de sent Narçis e incluso hace una pequeña descripción de las tablas, dando una idea de los colores originales de las obras (Tormo y Monzó 1933).

El grado de densidad y contraste conseguido con las radiografías permite distinguir con detalle, las figuras de

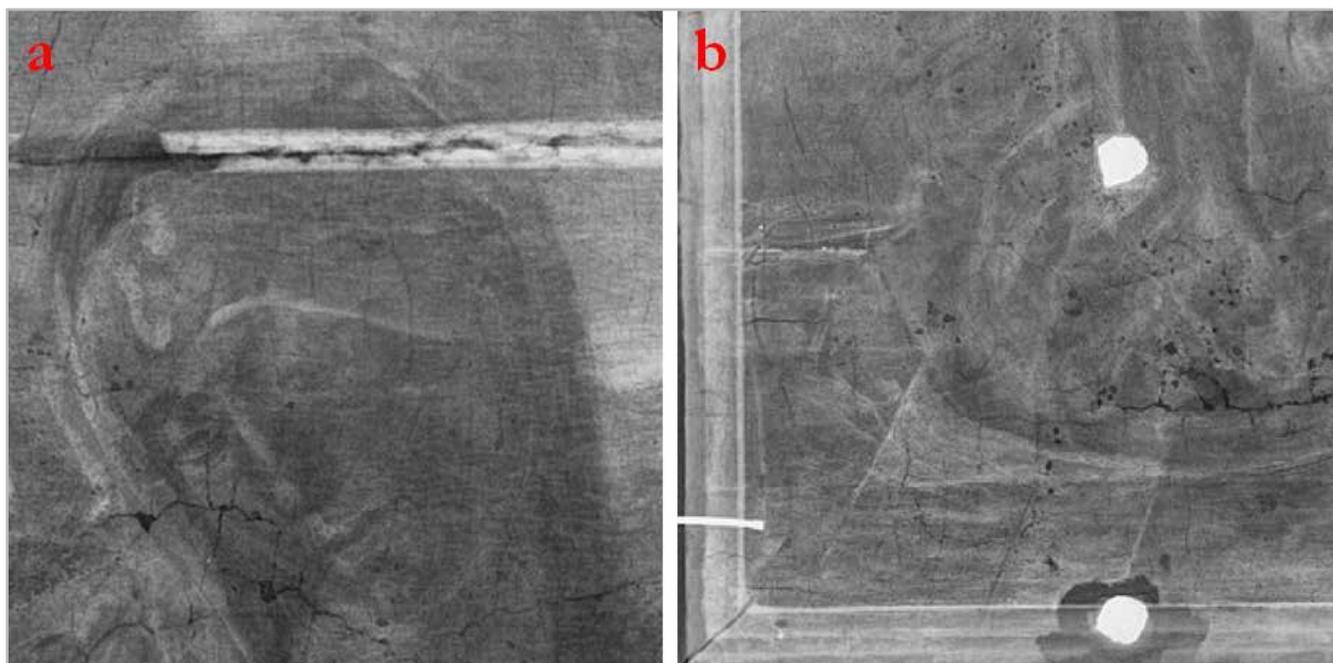


Figura 4. - Imágenes radiográficas de la tabla de la *Virgen, el Niño y santa Ana*. a) Detalle de la cara de la Virgen y b) detalle del suelo. Fuente: José Antonio Madrid García.

ambas tablas. En los fondos se aprecia una diferencia entre el cielo y el paisaje. Así mismo, en el suelo se hacen visibles las líneas de las baldosas, que por su alta densidad radiográfica podrían haber sido dibujadas a través de una incisión sobre la preparación [detalles de la Figura 4]. Las radiografías también muestran los elementos metálicos de las tablas empleados como métodos para su unión y ensamblaje. Se observan los clavos de sujeción al marco y otra línea vertical de clavos, probablemente para sujetar las tablas a la estructura de la predela. Se ve también la separación de los paneles horizontales, así como unos elementos metálicos usados para su unión. En cuanto a alteraciones, se ven pequeñas lagunas por toda la superficie, que muy posiblemente sean debidas al desprendimiento de pequeñas ampollas, así como las faltas en la parte superior y escorrentía que ha fundido la capa pictórica en su recorrido.

— Análisis Macro Fluorescencia de rayos X (MA-FRX)

El análisis MA-XRF ha aportado información sobre los pigmentos de ambas tablas. A partir de las imágenes radiográficas, se escogieron áreas para realizar un escaneado puntual que contuviera zonas significativas que aportaran la máxima información en lo referente a pigmentos. El estudio se centró principalmente en las encarnaciones y vestiduras de ambas tablas. Sin embargo, durante el estudio también se obtuvo información sobre otros elementos significativos.

• Rostros y cabellos

En base a las imágenes radiográficas de ambas tablas se delimitaron las zonas aproximadas que incluyeran los rostros de santa Marta y santa Magdalena de la tabla de las Mártires, y de la Virgen y santa Ana. Como se puede apreciar en la Figura 5, de la imagen visible de esas zonas no se puede obtener ningún tipo de información. No obstante, los mapas MA-XRF de las líneas de fluorescencia FeKa1, HgLa1, PbLa1 y SnKa1, sí que han permitido obtener información acerca de cómo se elaboraron rostros y cabellos.

Los rostros se elaboraron empleando principalmente blanco de plomo. En determinadas zonas como los pómulos y los labios de santa Marta y santa Ana se mezcló con bermellón para obtener el tono sonrosado. Los cabellos fueron elaborados con un pigmento tierra basado en óxido y/o hidróxido de hierro, como se desprende del mapa de distribución de intensidad de la línea FeKa1, y amarillo de plomo y estaño, como se puede apreciar a partir del mapa de distribución de la línea SnKa1.

• Vestiduras

Al igual que en el caso anterior, en base a las imágenes radiográficas de ambas tablas se delimitaron las zonas aproximadas que incluyeran zonas que aportaran información sobre el color original de los ropajes de los personajes. Como se puede apreciar en la Figura 6, de la imagen visible de esas zonas no se puede obtener ningún tipo de información. No obstante, los mapas MA-XRF de las líneas de fluorescencia FeKa1, CuKa1, HgLa1, PbLa1, sí que han permitido obtener información acerca del color de las vestiduras.

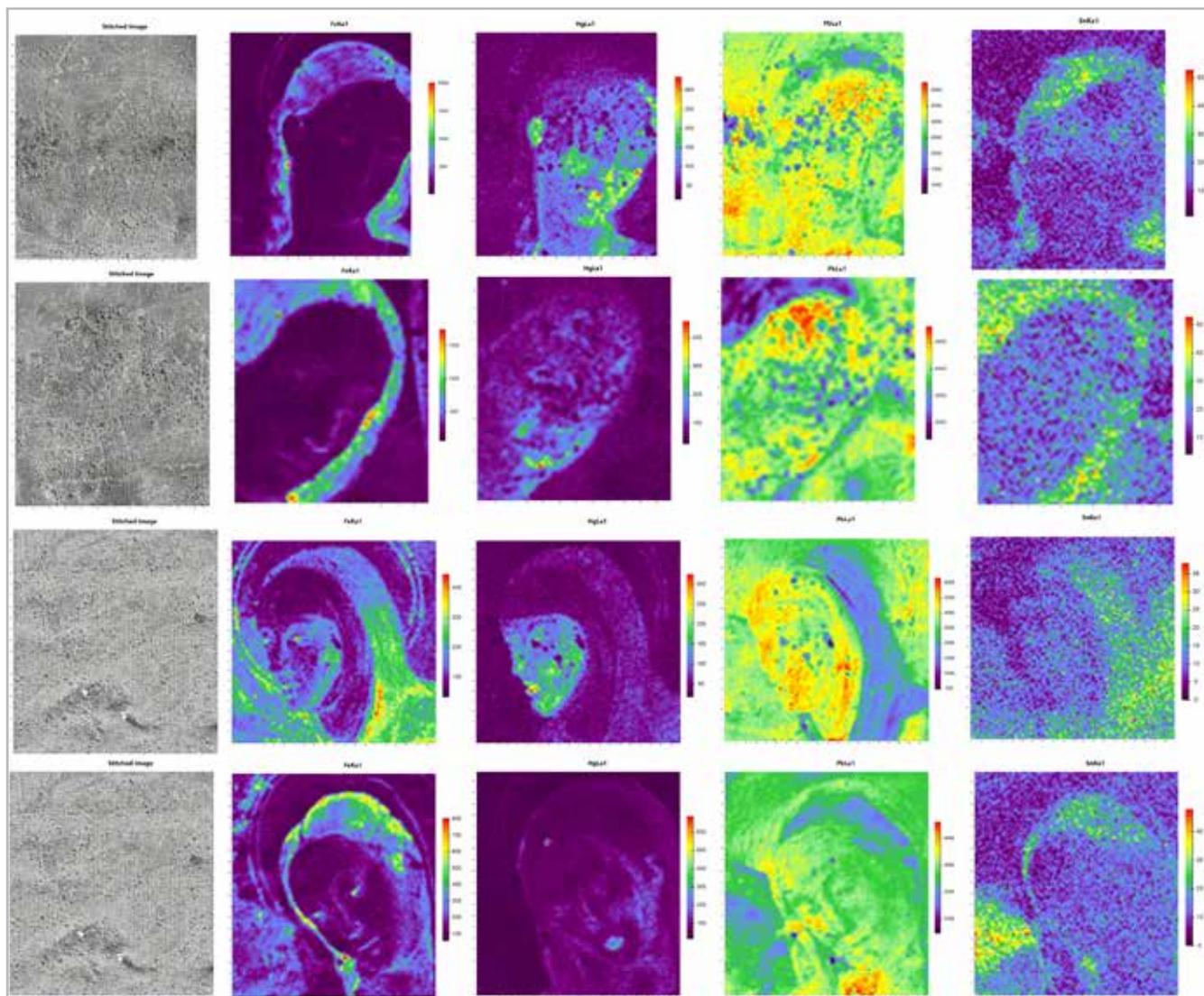


Figura 5.- Imagen visible de las zonas de los rostros de santa Marta y santa Magdalena, y de santa Ana y la Virgen y mapas MA-FRX de las líneas de fluorescencia FeKa1, HgLa1, PbLa1 y SnKa1. Fuente: IVCR+i.

Los mapas de distribución de intensidad sugieren que santa Marta llevaba un manto azul de azurita con un vestido de color rojo o rosado elaborado con bermellón, como se desprende de la distribución de cobre y mercurio, posiblemente mezclados con blanco de plomo. Por último, la presencia más intensa de hierro en el jubón sugiere que tuviera un color más oscuro que el del cabello, ya que no se detectó la presencia de amarillo y estaño. Siguiendo el mismo tipo de análisis a partir de los mapas de distribución de la zona correspondiente a santa Magdalena, vestía un jubón ocre más rojizo, ya que se detecta la presencia de bermellón en la zona y un manto probablemente azul de azurita. En cuanto al vestido, se detecta la presencia de blanco de plomo en la zona de la cintura. La ausencia de una presencia significativa de hierro, cobre y mercurio, sugiere que pudo elaborarse con un pigmento de naturaleza orgánica, lo que no permite obtener información del color. En base a estudios anteriores, este tipo de respuesta al análisis EDXRF es producida por pigmento laca roja o veladura pardas. En el caso de santa Ana, los mapas de distribución de elementos sugieren que el vestido y el

manto pudieron ser azules o verdes, como se desprende de la distribución de intensidad de la línea CuKa1 y FeKa1 respectivamente. Por último, la Virgen iba vestida con un vestido probablemente azul elaborado con azurita y un manto rojo elaborado con bermellón.

• Dorados

El análisis MA-XRF de las distintas áreas también ha permitido evidenciar la presencia de zonas y elementos dorados en las dos tablas. Algunas de estas zonas corresponden a las aureolas de santa Marta, la Virgen y santa Ana [Figura 7-a] donde el mapa de distribución de la línea AuLa1 muestra la presencia de oro. Un hecho que destaca en santa Ana es la presencia significativa de las líneas AuLa1 en el manto [Figura 7-b] que junto a la distribución de la línea FeKa1 sugiere que originalmente tuvo algún tipo de decoración dorada, siendo la presencia del hierro originado posiblemente por el bol presente como fondo del dorado.

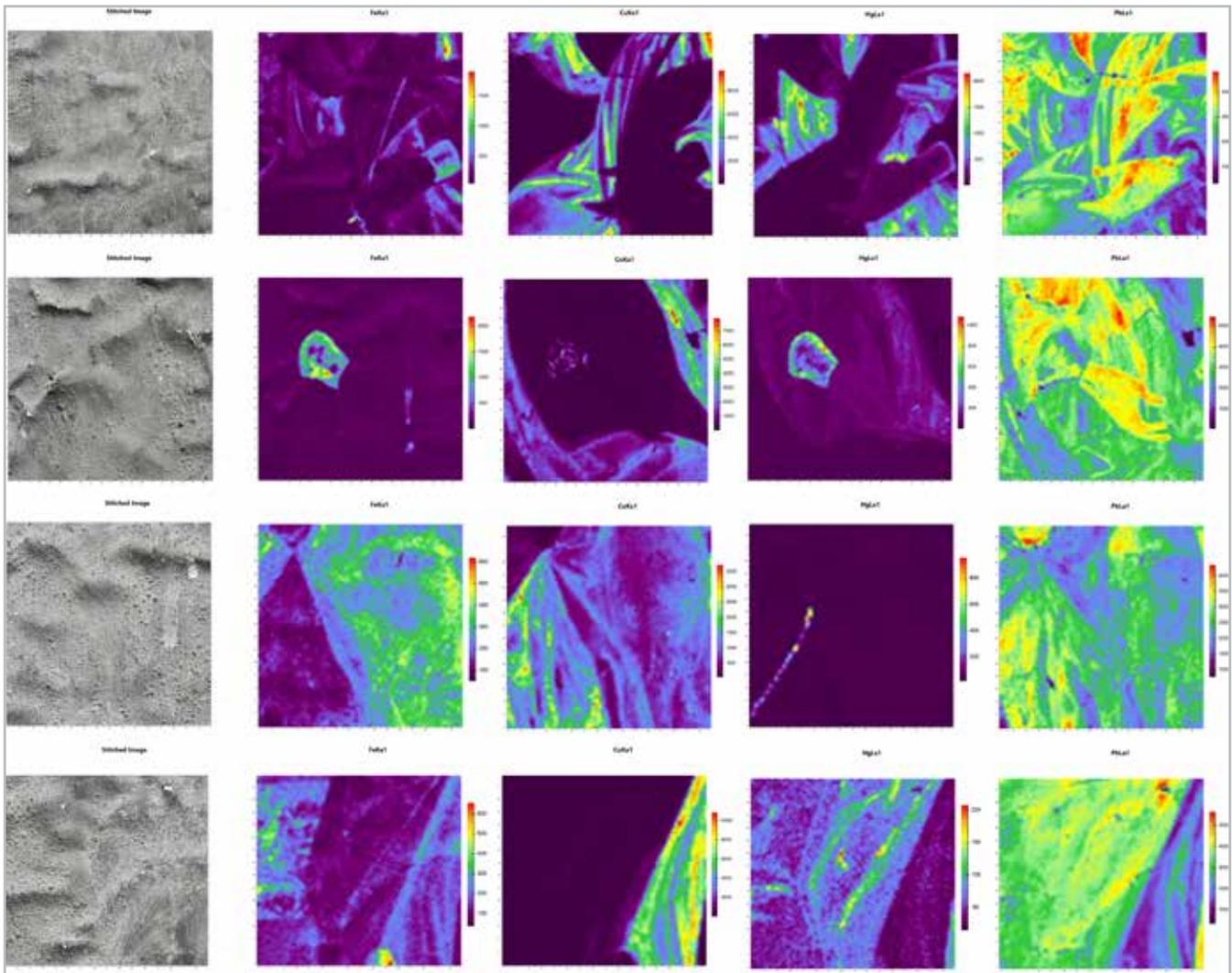


Figura 6.- Análisis de MA-FRX de las zonas de vestimentas de santa Marta y santa Magdalena, y de santa Ana y la Virgen, junto con los mapas de intensidad de las líneas de fluorescencia FeK α 1, CuK α 1, HgLa1 y PbLa1. Fuente: IVCR+i.

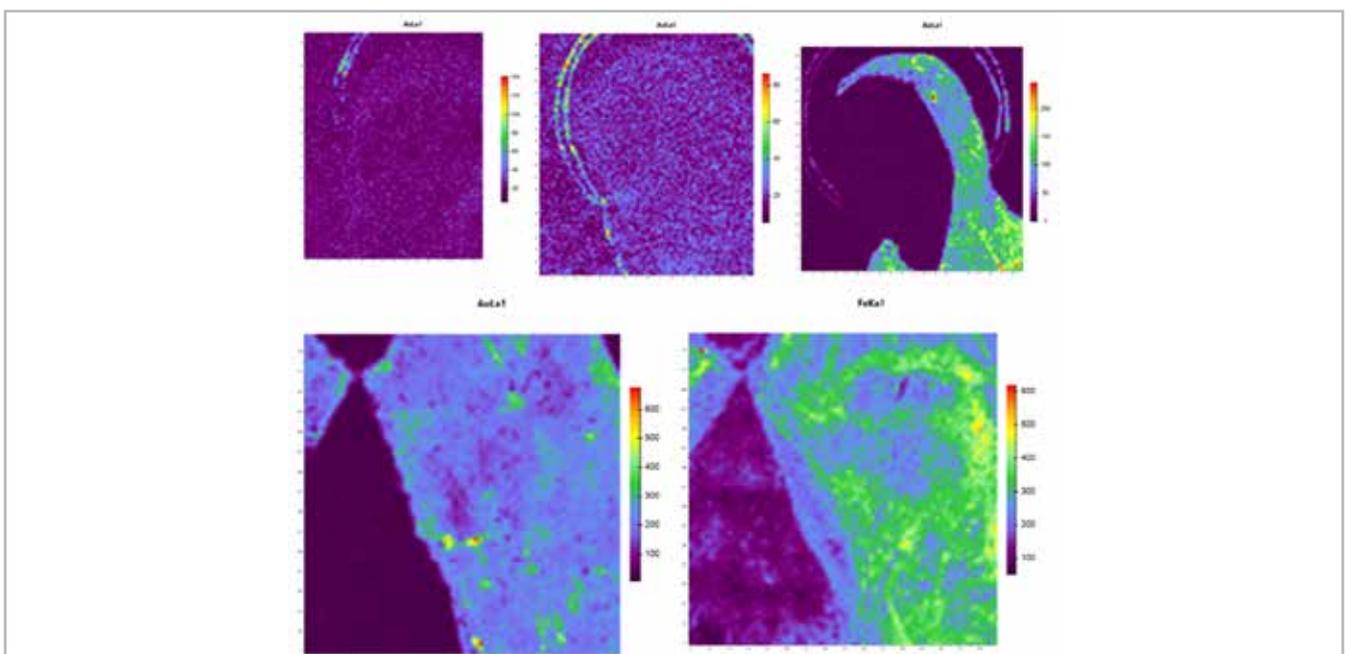


Figura 7.- a) Mapa intensidad de la línea AuLa1 de la aureola de santa Marta, de la Virgen y de santa Ana. b) Mapa intensidad de la línea AuLa1 y FeK α 1 del manto de santa Ana. Fuente: IVCR+i.

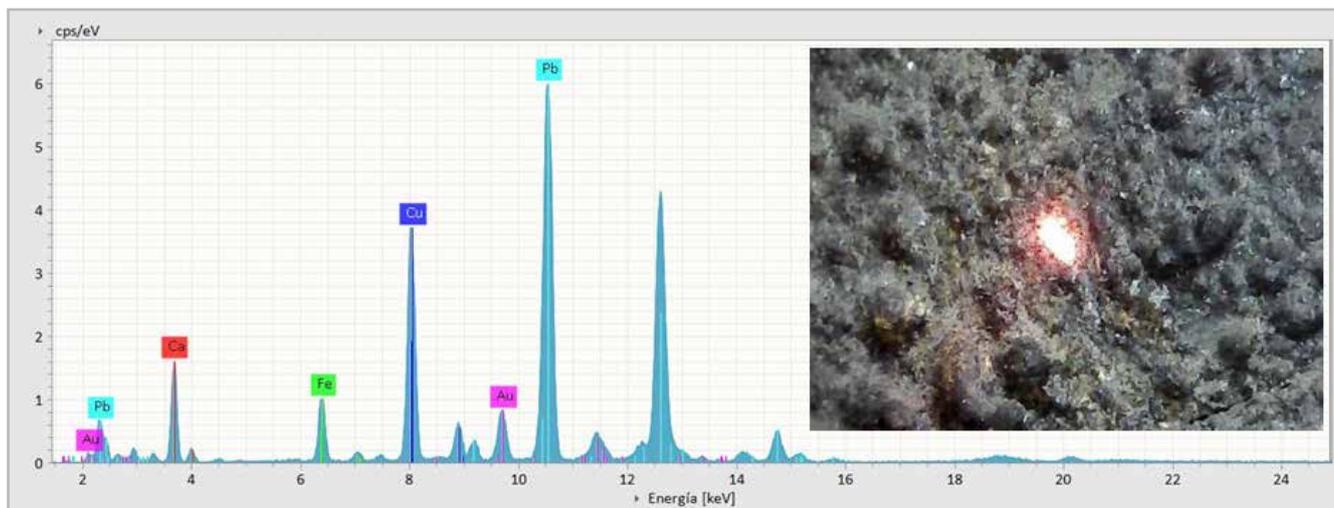


Figura 8.- Imagen con el punto a análisis del último punto de escaneado del manto de santa Ana y el espectro EDXRF adquirido. Fuente: IVCR+i.

Para confirmar este hecho se realizó un análisis EDXRF puntual correspondiente al último punto de la zona de mapeo del manto de santa Ana. En la figura 8 se muestra la zona analizada en la que se observan pequeñas partículas amarillas en la superficie quemada. El espectro adquirido del punto muestra la presencia de oro, lo que corroboraría la hipótesis de la decoración dorada del manto.

— Análisis de micromuestras

La severa modificación que han sufrido los materiales constituyentes a nivel estructural y en el cromatismo a consecuencia del incendio, dificultan los estudios estratigráficos mediante microscopía óptica. De manera generalizada, todos los estratos pictóricos se observan con una tonalidad parda, debido a la alteración de los pigmentos y del aglutinante, así como incompletos por la presencia de poros, fracturas y pérdidas superficiales. La identificación de pigmentos, técnica pictórica y del cromatismo original de la superficie ha sido posible mediante una correlación entre los resultados alcanzados, con el estudio complementario de las diferentes técnicas analíticas con los puntos de extracción de las muestras.

• Técnica de ejecución

En base a los resultados de los estudios estratigráficos se puede concluir que las tablas están formadas por los siguientes estratos que en general vienen recogidos en la Figura 9:

1. Soporte de madera.
2. Capa aislante de cola animal que serviría de tratamiento impermeabilizante de la madera y como adhesión de la estopa.
3. Preparación blanca de yeso aglutinado con cola animal. Como es común, la preparación se elaboró con 3 capas, pasando de una granulometría más gruesa a más fina.

4. Capa aislante de naturaleza orgánica.
5. Capas de pintura. Se ha identificado en todos los estratos el pigmento blanco de plomo mezclado, en proporciones variables, con otros pigmentos para conseguir los diferentes tonos. Entre los pigmentos identificados destacan el blanco de plomo, pigmentos tierras, el amarillo de plomo y estaño, azurita, el bermellón y el pigmento laca roja.
6. Capa de recubrimiento. Ha sido posible identificar restos de una capa de naturaleza orgánica que puede corresponder a un barniz.

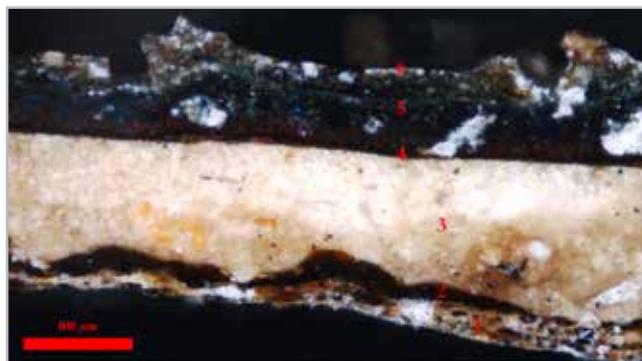


Figura 9.- Sección estratigráfica de una muestra de pintura observada mediante microscopio óptico con fuente de luz visible, 200 x. Fuente: IVCR+i

Tanto la capa orgánica en contacto con la madera (estrato nº2), como la capa de preparación blanca (estrato nº3), se caracterizaron mediante espectroscopia FTIR. En el primer caso se identificaron las bandas a 1629, 1532 y 1447 cm^{-1} correspondientes a un componente de naturaleza proteica [Figura 10-a]. Esto indica la aplicación de una cola animal sobre el soporte en madera, como sellado o para la adhesión de la estopa. En la preparación se han identificado bandas correspondientes al grupo sulfato SO_4^{2-} a 1100 cm^{-1} y en el intervalo 580 – 660 cm^{-1} aproximadamente, indicando la presencia de sulfato de calcio [Figura 10-

b). Destaca la ausencia de las bandas de absorción en la región 3600-3400 cm^{-1} , rango asociado a la vibración del enlace O-H, que corresponden a la presencia de agua de hidratación del yeso. Este resultado indicaría a una posible modificación de fase de la estructura cristalina del yeso con la pérdida de agua en composición por efecto de la temperatura. Estos cambios se acompañan generalmente con una variación del sistema cristalino del compuesto (cambios de la morfología y tamaño de partícula), de su densidad, dureza y solubilidad (Ridge 1960).

El uso de una variedad de pigmentos se confirma con los microanálisis EDX que muestran la presencia generalizada de plomo indicando el uso del pigmento blanco de plomo $[\text{2PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2]$ de base. Las muestras extraídas del cielo o de los mantos, muestran pequeñas partículas de pigmentos de tonalidad azul-grisácea. Todos los microanálisis EDX revelan significativos contenidos de Cu y Pb, indicando que el pigmento a conferir las tonalidades azuladas es el pigmento mineral de la azurita $[\text{2CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2]$, acompañada en diferentes proporciones por el blanco de plomo [Figura 10-a]. En la estratigrafía de la muestra de la vestimenta de la Virgen en la tabla de la *Virgen, el Niño y santa Ana*, se detecta una mezcla de blanco de plomo y azurita, a la cual se añade la presencia de partículas

amarillas que contienen Sn, que sumado a la presencia del plomo indica el uso de un amarillo de plomo y estaño o *giallorino*. Este resultado indicaría que el cromatismo original de esta área de la tabla debería virar a tonalidades verde-azuladas. La azurita es el pigmento que también se identifica, junto al blanco de plomo y pigmentos ocre (aluminosilicatos de hierro), en las áreas relacionadas con el paisaje de fondo. Igualmente los elementos químicos del Si, Al, Fe afines a pigmentos ocre se detectan en mezcla con el blanco de plomo en el suelo de baldosas de ambas tablas, sugiriendo unas tonalidades más amarillentas-ocres en estas superficies pictóricas.

En las encarnaciones, las estratigrafías muestran igualmente la alteración del cromatismo original de la pintura. Los microanálisis EDX detectan la presencia mayoritaria del Pb relacionado al blanco de plomo, junto a partículas rojas donde se identifica el pigmento bermellón $[\text{HgS}]$. En la superficie se detecta un alto contenido de aluminio, así como de partículas de pigmento ricas en mercurio y azufre [Figura 11-b]. Este resultado indicaría a una base rosada de la encarnación de blanco de plomo con poco bermellón, seguido por un acabado más cálido con una veladura a base de pigmento laca roja (colorante usualmente precipitado sobre alúmina) y bermellón.

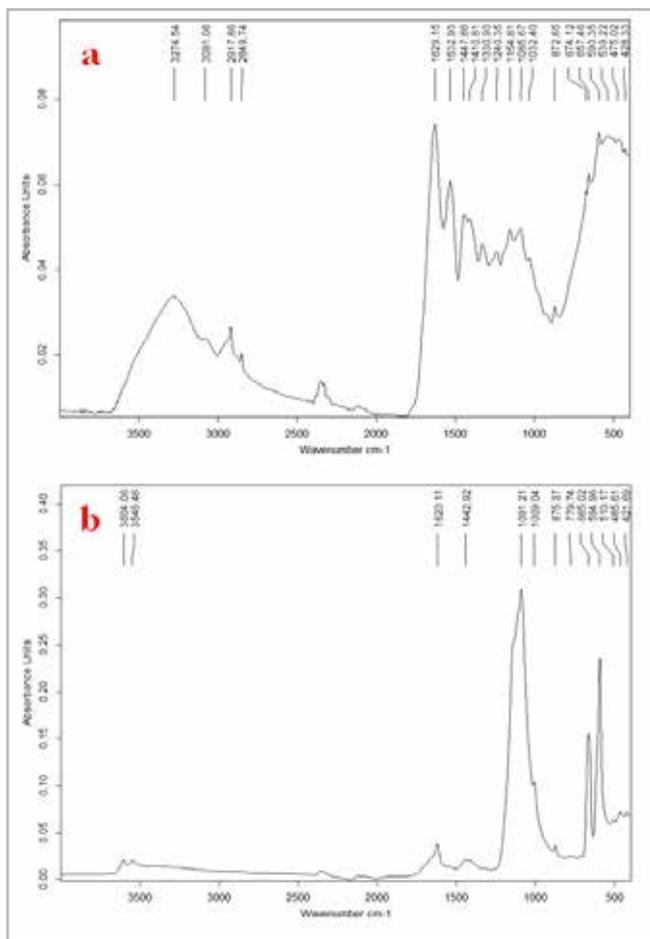


Figura 10.- Espectros FTIR de a) capa aislante y b) de la preparación blanca. Fuente: IVCR+i.

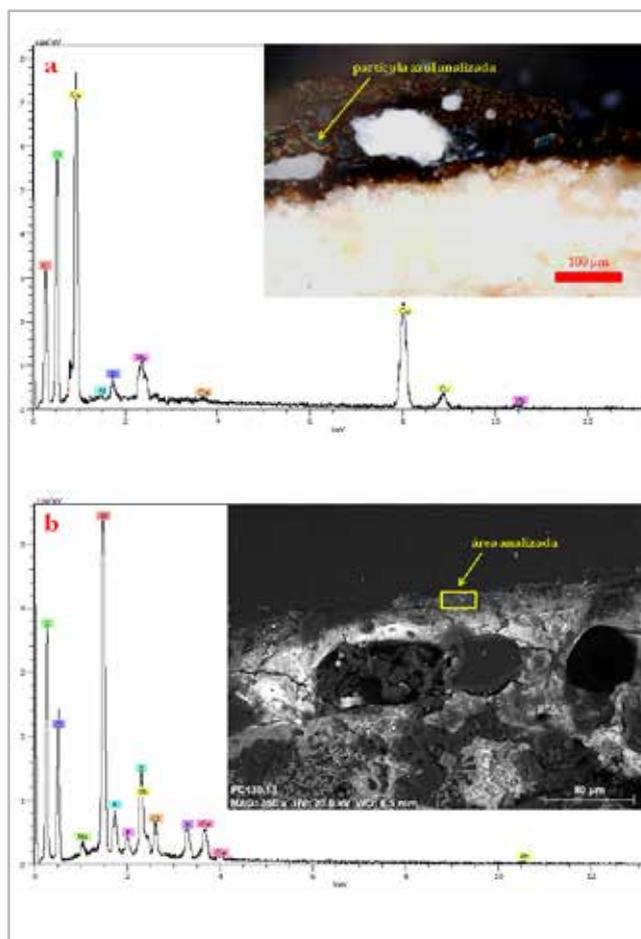


Figura 11.- Espectros FTIR de a) capa aislante y b) de la preparación blanca. Fuente: IVCR+i.

• Estado de conservación

Mediante los estudios microscópicos y espectroscópicos ha sido posible comprender el fenómeno de ennegrecimiento de la superficie pictórica tal y como se observa en el fragmento de la Figura 12-a, así como de los diferentes mecanismos de alteración de los materiales pictóricos por efecto del fuego. En general, se observa una capa pictórica oscurecida, de un tono pardo, indicando la degradación acelerada del aglutinante, junto a una degradación de determinados pigmentos como en el caso del blanco de plomo y del pigmento de la azurita. Este último se observa con tonalidades más oscuras o grisáceas, causando, junto con la alteración del aglutinante, un cambio del cromatismo general de la obra. En la imagen de microscopía óptica de la Figura 12-b, se observa un detalle de la sección estratigráfica de una muestra de pintura extraída del manto de la Virgen en la tabla de la *Virgen, el niño y santa Ana*. La capa pictórica presenta una matriz de aglutinante y blanco de plomo totalmente oscurecida, que engloba las partículas de azurita.

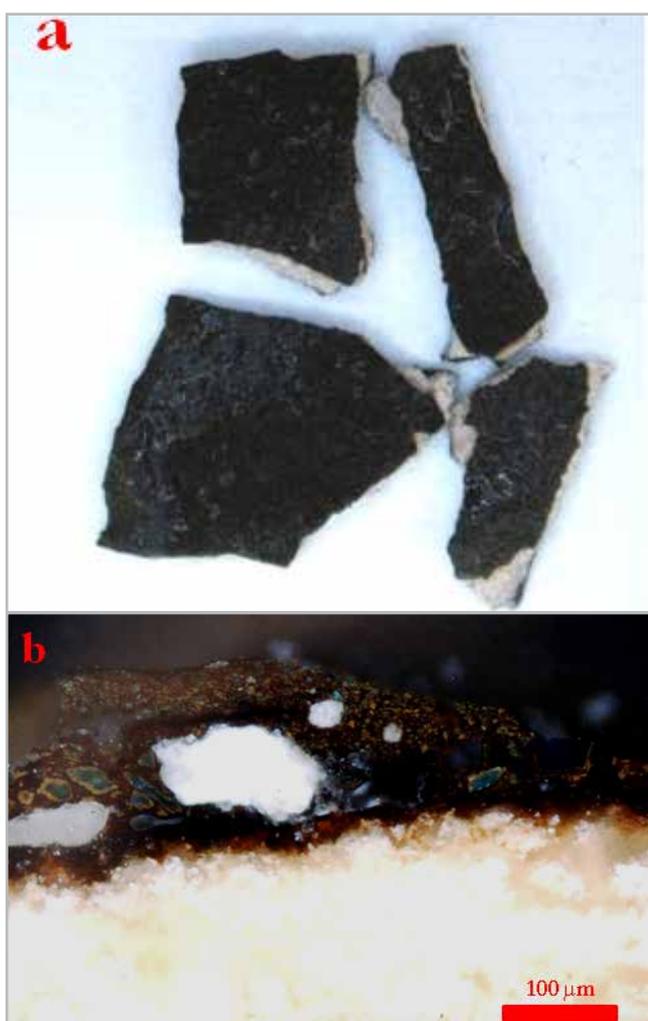


Figura 12.- a) Anverso de una muestra de pintura. Microscopio estereoscópico, 2 x. b) Sección estratigráfica de una muestra donde se aprecia el oscurecimiento de la capa pictórica. Microscopio óptico con fuente de luz visible, 200 x. Fuente: IVCR+i.

Como se observa en las micrografías por SEM de la Figura 13, en todas las muestras existe una importante alteración estructural de las capas provocada por un mecanismo de dilatación de la pintura por la expulsión de gases, dejando cavidades de diferentes tamaños y morfologías.

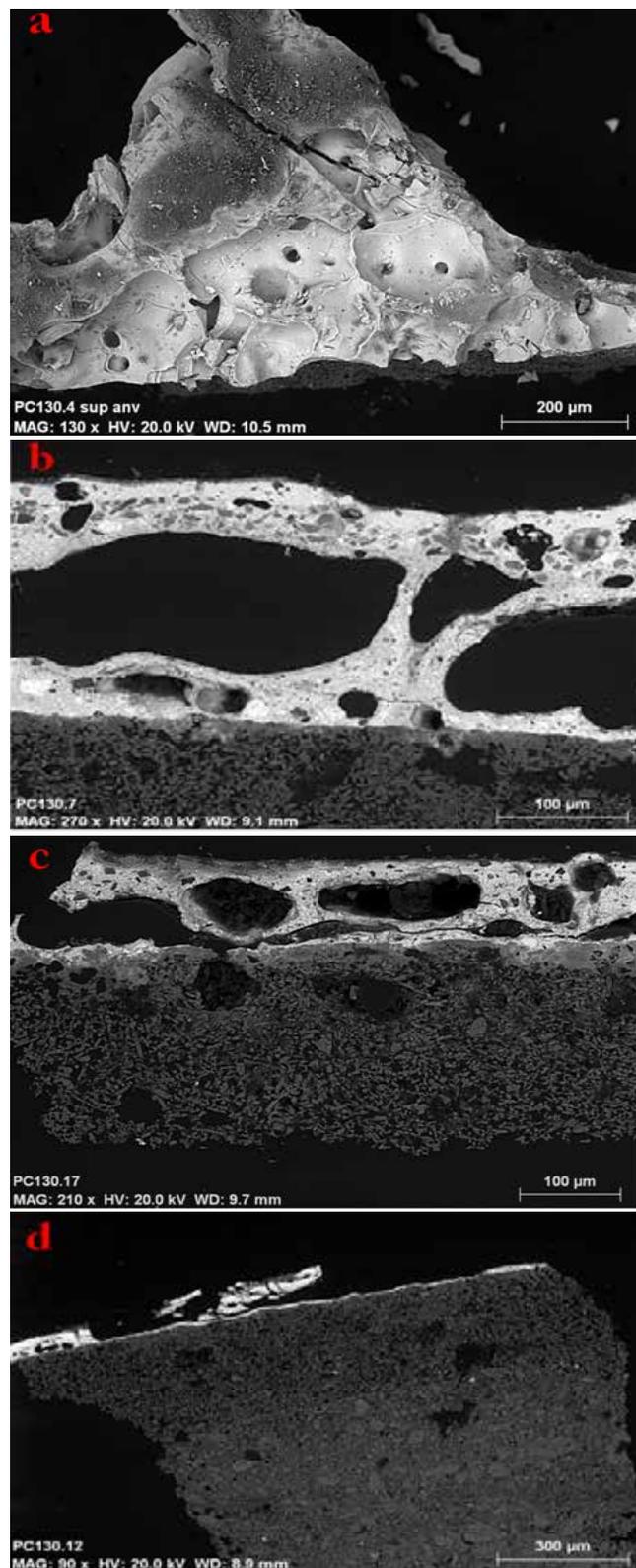


Figura 13.- Micrografías por SEM en modalidad BSE. a) Observación superficial de un fragmento de pintura, b-c-d) detalles de distintas secciones estratigráficas de muestras de pintura. Fuente: IVCR+i.

Las observaciones al SEM de la superficie de algunos fragmentos de pintura [figura 13-a] muestran con claridad el nivel de alteración provocado por la dilatación de la pintura, con la presencia de cráteres superficiales que han dejado las ampollas al colapsar, además de pequeños poros y cavidades. Las secciones estratigráficas muestran la abundante presencia de poros, además de microfisuras que atraviesan la capa pictórica [Figura 13 a-b-c], llegando en algunos casos a separar por completo la pintura de la preparación, provocando el colapso de la estructura, disgregación y pérdida de la parte superficial de la capa pictórica.

Con el análisis FTIR que se muestra en la figura 14, se evidencia una posible alteración del pigmento blanco de plomo. Las bandas de absorción a 1388, 835 y 677 cm^{-1} asociadas al carbonato básico de plomo han sufrido un ligero desplazamiento respecto a la respuesta observada en el pigmento no alterado. Este cambio está relacionado posiblemente con alguna modificación en la estructura del pigmento. En cuanto a las bandas que se observan a 2919, 2850 y 1515 cm^{-1} indicarían la formación de grupos carboxilatos relacionados a la presencia de jabones metálicos de plomo (ej. palmitato o estereato de plomo) (Lam *et al.* 2018).

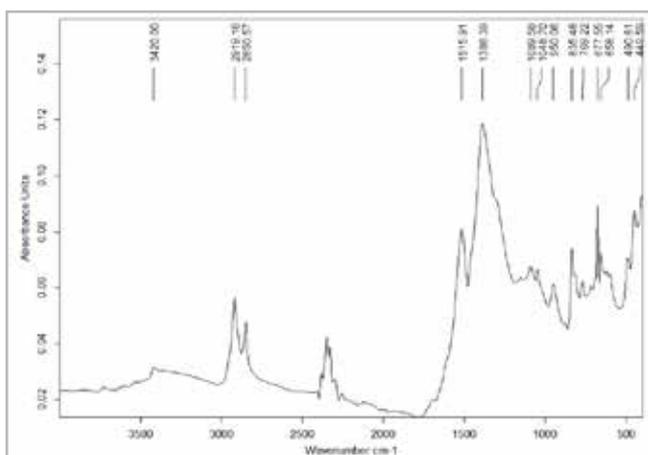


Figura 14.- Espectro FTIR de una muestra de pintura. Fuente: IVCR+i.

Este resultado denota la importante alteración química del pigmento y del aglutinante a base de aceite secante. En definitiva, la deshidratación del yeso, la migración y la posible desnaturalización del aglutinante, han dejado una preparación muy porosa y con gran descohesión entre los cristales de yeso. Por su parte la capa pictórica se encuentra muy frágil, debido a la presencia de poros y cavidades interconectados, y por la alteración del pigmento blanco de plomo y al envejecimiento acelerado del aglutinante que implica una mayor dureza del estrato pictórico.

Conclusiones

El estudio de las dos tablas que se ha llevado a cabo ha permitido identificar y catalogar correctamente las obras y estudiar los fenómenos de alteración por el fuego y calor.

Los mecanismos de alteración por fuego y calor en pinturas sobre tabla resultan ser complejos, donde a la respuesta individual de cada material, debe considerarse también la respuesta conjunta que pueden provocar en la apariencia general de la obra.

Los análisis realizados han permitido la identificación de los materiales y la técnica pictórica utilizada para la ejecución de las tablas, y dan una idea clara del nivel de alteración que presenta la estructura pictórica a causa del incendio. Las fuertes temperaturas han causado la deshidratación del sulfato de calcio presente en la preparación. Esa evaporación de moléculas de agua, al igual que las provenientes del soporte, podría haber arrastrado en su ascensión parte del aglutinante de la preparación y del sellado del soporte. Es de suponer que ha habido, por calentamiento por altas temperaturas, un cambio en el comportamiento de todos los materiales, mediante la pérdida de humedad de composición y la aparición, proporcional a la temperatura soportada, de hidrocarburos de descomposición en la madera. La expulsión de estos y otros gases desde las capas subyacentes durante el calentamiento, sumado a un posible reblandecimiento de la capa pictórica, ha provocado movimientos de dilatación del estrato de color formando cavidades internas, y ampollas y pequeños gránulos en la superficie. A nivel microscópico se observan fisuras que han provocado el colapso de muchas de las cavidades, dejando cráteres y restos de estrato pictórico en superficie. Además de las ampollas, los posibles movimientos del soporte de madera por los bruscos cambios de temperatura y humedad, así como las tensiones que se han ido produciendo entre los estratos de la estructura pictórica, han provocado levantamientos muy pronunciados en forma de crestas por toda la superficie de las obras. El estrato pictórico ha sufrido un oscurecimiento generalizado debido al depósito de hollín y al aceleramiento de los procesos de envejecimiento del aglutinante y de la alteración de los pigmentos blanco de plomo y azurita tal y como se ha observado en el estudio estratigráfico de diferentes muestras de pintura. En general, todos estos mecanismos observados han dejado la preparación y la capa pictórica muy frágiles e inestables y con la necesidad urgente de una intervención de estabilización. Frente a esta situación, la investigación en ambas tablas está centrada actualmente en definir el diseño metodológico para la correcta evaluación de la aplicabilidad, compatibilidad, eficacia y riesgo de la intervención de estabilización de los materiales pictóricos, delimitando los adhesivos y consolidantes más adecuados, así como los sistemas de aplicación.

Asimismo, se ha investigado sobre la reconstrucción virtual del cromatismo original de las tablas, basándose en los resultados de los estudios científicos y contrastando la información con otras tablas del retablo, que se encuentran en el museo de la Catedral, y no se vieron involucradas en las altas temperaturas del incendio (Juanes *et al.* 2021). Este último estudio resulta ser una iniciativa interesante cuando no sea posible aplicar ninguna metodología de limpieza o cuando exista una pérdida de materiales pictóricos que han

alterado el aspecto originario de la superficie, igualmente es una herramienta útil a la hora de abarcar una limpieza extremadamente complicada, como guía visual que permita tener un control espacial sobre las áreas a intervenir.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia e Innovación por su apoyo mediante el Programa Estatal de Promoción del Talento y su Empleabilidad en I+D+I (PTA2019-002526-C) y a la Iglesia Catedral Basílica Metropolitana de Valencia por la concesión de las tablas para su estudio.

Referencias

- ANTELO, T., BUESO, M., GABALDÓN, A. Y VEGA, C. (2008). "Un espacio para lo invisible", en *La Ciencia y el Arte. Ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico*, Ministerio de Cultura, 25-37.
- ANTONOPOULOU-ATHERA, N., CHATZITHEODORIS, A.E., TERLIXI, A., DOULGERIDES, M. Y SERAFETINIDES, A. (2018). "Reconstructing the colour palette of the Konstantinos Parthenis' burnt paintings", en *Spectrochim. Acta - Part A Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 201: 315–327. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.04.071>
- ARROYO LEMUS, E. (2009). "Efectos del fuego en la Virgen del Perdón, tabla novohispana del siglo XVI", en *Ge-Conservación*, 0: 79–98. <https://doi.org/10.37558/gec.v0i0.64>
- JUANES BARBER, D., FERRAZZA, L., CHULIÁ BLANCO, I., GARCÍA HERNÁNDEZ, G. Y MADRID GARCÍA, J.A. (2021). "Development of a scientific methodology for the virtual chromatic reintegration of two 15th century burnt painting panels from the Cathedral of Valencia", en *RECH6 - 6th International Meeting on Retouching of Cultural Heritage*, Valencia 4-6 November (manuscrito presentado para su publicación).
- BOISSONNAS, A.G. (1963). "The Treatment of Fire-Blistered Oil Paintings", en *Studies in Conservation*, 8(2): 55–66. <https://doi.org/10.2307/1505279>
- BUSTINDUY FERNÁNDEZ, M.P. (2001). "Métodos de examen no destructivos aplicados al estudio de obras de arte", en KOBIE (Serie Bellas Artes). Bilbao Bizkaiko Foru Aldundia-Diputación Foral de Bizkaia, 12: 79-97.
- DE SALES FERRI CHULIO, A. (2013). "El incendio de la catedral metropolitana de Valencia el 21 de julio de 1936", 2o aumenta. Valencia: Arts Grafiques MBN.
- GÁLVEZ BELLIDO, E. (1990). "Tratamiento de pinturas quemadas: El Cristo de la Villa de Yanguas", en *Rev. Pátina*, 4: 56–61. <http://patina.edu.es/index.php/patina/article/view/58>
- GÓMEZ-FERRER M. Y CORBALAN DE CELIS, J. (2014) "El pintor valencia Franci Joan (act. h. 1481-1515) Identificado como el anónimo Maestro de San Narciso", en *Ars Longa*, 23: 75–92.
- GÓMEZ GONZÁLEZ, M.L. (1998). "La restauración. Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte", Madrid: Cátedra: Instituto del Patrimonio Histórico Español.
- GÓMEZ RODRIGO, M. (2001). "Las pinturas quemadas de la Catedral de Valencia: el retablo de San Miguel del Maestro de Gabarda", Valencia: Generalitat Valenciana.
- GRAU_DIECKMANN, P. (2010). "Santa Marta, guardiana de hogares ajenos", *Arqueología, Historia y viajes sobre el mundo Medieval*, 36: 55–62.
- KETNATH, A. (1978). "The Treatment of a Fire-Damaged Picture Painted on a Masonite Board", en *Studies in Conservation*, 23 (4): 168–173. <https://doi.org/10.1179/sic.1978.022>
- KLEITZ, M.O. (2003). "Questions sur la sensibilité thermique des peintures de chevalet en présence d'un incendie", en *Congrès International: Prévention 2000: la prévention des sinistres dans les aires de stockage du patrimoine*, 189– 195.
- LAM, T, ROMANO, C., NEWSOME, G.A., LITTLE, N. Y TSANG, J.S. (2018). "Characterization of Zinc Soap from an Accelerated Aged Oil Painting Test Panel", en *Microscopy and Microanalysis*, 24 (s.1): 2158-2159. <https://doi.org/10.1017/S1431927618011273>
- PERIS VICENTE, J. (2007). "Estudio analítico de materiales empleados en barnices, aglutinantes y consolidantes en obras de arte mediante métodos cromatográficos y espectrométricos", Tesis Doctoral, Universidad de Valencia.
- RIDGE, M.J, BERETKA, J. (1960). "Calcium Sulphate Hemihydrate and its Hydration", *Reviews of Pure and Applied Chemistry*, 19: 17.
- ROBLES ANDREU, A. (2013). "Sustancias adhesivas en la consolidación de pinturas afectadas por el fuego. Estudio comparativo y testado de materiales", Trabajo Final de Máster, Universidad Politécnica de Valencia.
- TAHK, C. (1979). "The recovery of color in Scorched Oil Paint films", en *Journal of the American Institute for Conservation*, 19 (1): 3–13.
- TORMO Y MONZO, E. (1933). "Rodrigo de Osona, padre e hijo, y su escuela", en *Archivo Español de Arte y Arqueología*, 23: 27.
- TORMO Y MONZO, E. (1932). "Valencia. Los museos. Guías-catálogo", Madrid: Centro de Estudios Históricos.
- VERDEJO TORREGROSA, M. (2014). "Propuesta de reconstrucción de un retablo. El caso de San Dionisio Entronizado de los Osona", Trabajo Final de Grado, Universidad Politécnica de Valencia.

Autor/es



Livio Ferrazza
livio.ferrazza@gmail.com
Institut Valencià de Conservació,
Restauració i Investigació (IVCR+i)
<https://orcid.org/0000-0002-4357-2979>

Doctor en Química y Diplomado en Ciencias para la conservación de bienes culturales por la Universidad "La Sapienza" de Roma. Desde 2007 colabora con el Laboratorio de Materiales del Instituto Valenciano de Conservación, Restauración e Investigación (IVCR+i), trabajando en los análisis de laboratorio de muestras de bienes culturales tales como pintura de caballete, pintura sobre tabla, pintura mural, piedra, textil, papel y metal. Ha participado en numerosas líneas de investigación con una destacada trayectoria en la evaluación tratamientos de estabilización y de limpieza de superficies policromadas, soporte pétreo y pinturas murales. Desde 2009 colabora con esta institución en los estudios analíticos y evaluación de los tratamientos de restauración en las pinturas murales de la Casa de Ariadna en Pompeya, en la Portada de Los Apóstoles de la Basílica Arciprestal de Morella (Castellón) o en la caracterización de materiales y evaluación de los tratamientos de limpieza en la pintura gótica valenciana como en el caso de la predela del Centenar de la Ploma del Victoria and Albert Museum de Londres. En 2014 recibe la beca Fundación Andrew W. Mellon colaborando con el Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE) de Madrid en la evaluación de la eficacia y del riesgo asociado a los diferentes sistemas de estabilización y de limpieza de la policromía sobre piedra en el Pórtico de la Gloria de la Catedral de Santiago de Compostela. Ha colaborado en la línea de investigación del proyecto PNIC2015-05: Protocolo de evaluación del riesgo para la intervención en conjuntos escultóricos de piedra policromada, a través del cual se ha desarrollado un protocolo para la evaluación del riesgo y la eficacia en los diferentes tratamientos a emplear (limpieza, desbiotización, fijación, consolidación).



David Juanes Barber
juanes_dav@gva.es
Institut Valencià de Conservació,
Restauració i Investigació (IVCR+i)
<https://orcid.org/0000-0002-5673-5853>

Su carrera en el área de investigación en conservación del patrimonio cultural se inició en 1998 en la Universidad de Valencia, donde participó en el desarrollo de equipos portátiles de fluorescencia de rayos X para el análisis no invasivos de obras de arte. De 2003 a 2007 se incorporó como autónomo al Instituto del Patrimonio Histórico Español, donde se formó en las diferentes técnicas y metodologías para el estudio y diagnóstico del estado de conservación de las obras de arte, y colaboró en la puesta en marcha de una metodología de el análisis de los objetos del patrimonio histórico-artístico que optimiza el uso de técnicas con y sin muestreo. En 2007 se incorporó al Institut Valencià de

Conservació, Restauració i Investigació (IVCR+i) de la Generalitat Generalitat, donde actualmente presta apoyo técnico y científico a los distintos departamentos de conservación y restauración. Ha participado en proyectos de I+D relacionados con la conservación y restauración del patrimonio histórico. Es autor de publicaciones científicas enfocadas en tecnologías aplicadas al estudio y conservación del patrimonio histórico principalmente a través del uso de técnicas no invasivas. Actualmente trabaja en la aplicación de tecnologías 3D en la conservación y restauración del Patrimonio Cultural, ejemplos recientes de esta línea son el estudio de la Fachada de los Apóstoles en Morella, la aplicación de la tomografía computarizada para el estudio de la escultura en madera y la tecnología GIS como herramienta para la gestión de resultados científicos y procesos de conservación en obras de arte.



Greta García Hernández
gretanicaragua@yahoo.es
Institut Valencià de Conservació,
Restauració i Investigació (IVCR+i)

Doctora por la Universidad Politécnica de Valencia, con la tesis *Metodología científica para la realización de expertizaciones, la técnica pictórica de Amedeo Modigliani*. También es Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales con la especialidad de Pintura de Caballete y Retablo, y Máster en Ingeniería de la Tasación y Valoración de Obras de Arte, y Licenciada en BBAA, también por la Universidad Politécnica de Valencia. En su formación de especialización en Restauración ha estado en Instituciones Nacionales como el Instituto de Patrimonio Cultural de España, La Diputación Provincial de Castellón o el Museo de Bellas Artes de Valencia. En su trayectoria profesional tiene más de 20 años de experiencia en Conservación-Restauración de Patrimonio Mueble desarrollada en diversas instituciones públicas nacionales y autonómicas. Desde 2006 es Técnico Superior en Restauración de la Generalitat Valenciana y actualmente su puesto es el de Conservadora y Restauradora de Arte Moderno y Contemporáneo, y Peritaje, Valoración y Expertización de Obras de Arte en el Institut Valencià de Conservació, Restauració i Investigació (IVCR+i) de la Generalitat Generalitat. Dentro del IVCR+i realiza tareas de diagnosis, tratamientos completos de conservación y restauración de las piezas, correo de exposiciones, difusión y publicación trabajos e investigaciones, formación de becarios nacionales e internacionales...etc. Y también expertizaciones científicas de obras de arte. Desde 2016 colabora con la Unidad de Patrimonio de la Policía Autónoma de la Comunidad Valenciana, e imparte clases de Autenticación científica de obras de arte en Varios Postgrados Universitarios del Territorio Español. Desde 2018 es Presidenta del Comité Científico de la Fondazione Amedeo Modigliani Ricerca Scientifica de Roma. Actualmente es la Investigadora Principal del Proyecto I+D+I "El Gótico Internacional Valenciano. El Retablo del Centenar de la Ploma y otras obras clave en torno a ésta, para su estudio, análisis científico y/o identificación de su autoría".

**Inmaculada Chuliá Blanco**
chuliablanca@gmail.com

 Institut Valencià de Conservació,
Restauració i Investigació (IVCR+i)

Doctora por la Universidad Politécnica de Valencia, en el programa de Ciencia y Restauración del Patrimonio Histórico Artístico en el 2015, y Licenciada en Bellas Artes, con las especialidades en Pintura y Conservación y Restauración de Bienes Culturales (1984-1991), por la Facultad de BBAA de Valencia, donde curso el doctorado y obtuvo el DEA investigando sobre los fenómenos inductores de las emergencias y procedimientos de rescate en Patrimonio cultural. Desde 1991 trabaja para la Generalitat Valenciana como restauradora de pintura de caballete, y desde el 2006 pertenece al equipo de técnicos del Institut Valencià de Conservació, Restauració i investigació mediante concurso oposición. Sus investigaciones están relacionadas con la gestión de las emergencias en el Patrimonio Cultural y las estrategias y capacidades de asistencia técnica. Perteneció desde 2015 a la comisión de seguimiento del Plan Nacional de Emergencias y Gestión de Riesgos en el Patrimonio Cultural, que se creó por parte del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte para dar una respuesta rápida por emergencia o catástrofe que afecte al Patrimonio cultural. Imparte docencia en el Máster de Patrimonio Cultural: identificación, análisis y gestión, de la Universidad de Valencia desde el 2016, con formación como "Introducción a las emergencias del patrimonio cultural y la respuesta institucional" y la "Identificación de los diez agentes de deterioro para el Patrimonio". Profesora en la Universidad de Valencia en el Título propio de Expertos en protección del Patrimonio. Responsable del grupo de intervención para la recuperación y rescate del Patrimonio cultural creado para por la Agencia valenciana de Seguridad y Respuesta a Emergencias, IVASPE dentro del Plan territorial de Emergencias de la Comunidad Valenciana. Tiene artículos publicados sobre los procedimientos, estrategias y capacidades de respuesta en emergencias.

doctorales. Supervisor Responsable de la Instalación Radioactiva asociada al Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València, ha dirigido su línea de investigación a la realización de radiografías de gran formato de obras bidimensionales y tridimensionales.

**Lila Jurado Valdivia**
lila_jurado_val@hotmail.com

 Conservadora Restauradora de Bienes
Culturales

Lila Jurado Valdivia es licenciada en Bellas Artes por la Universidad Complutense de Madrid con la especialización en Conservación Restauración de pintura. En 2019 obtiene el Máster de Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico de la Universidad Pablo Olavide de Sevilla, cuyas prácticas curriculares realiza en el IVCR+i. Tiene también formación específica en conservación restauración de otros materiales como textiles, metales y documento gráfico, así como en conservación preventiva. Actualmente trabaja como restauradora de documento gráfico en la Imprenta Municipal de Madrid.

Artículo enviado el 11/05/2021
Artículo aceptado el 09/01/2022



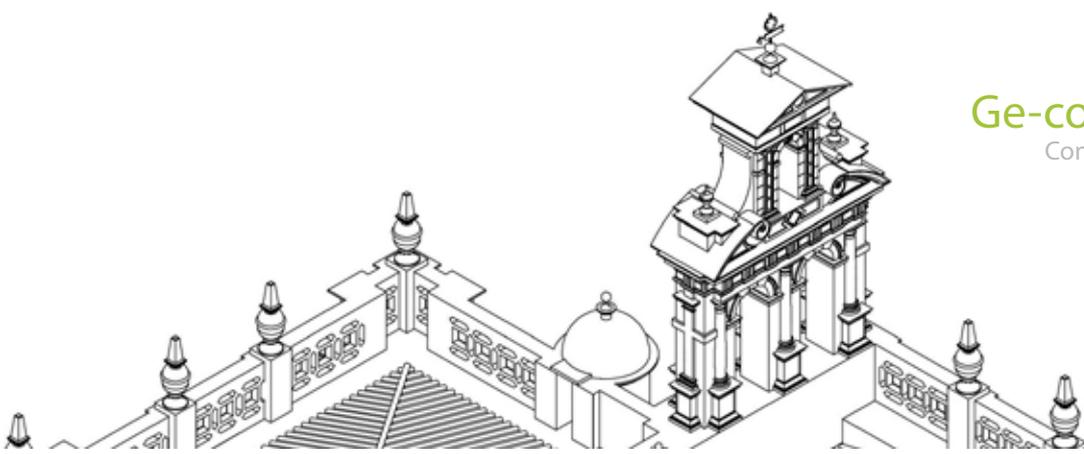
<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.985>

**José Antonio Madrid García**
jmadrid@crbc.upv.es

 Instituto Universitario de Restauración
del Patrimonio - Universitat Politècnica de
València

<https://orcid.org/0000-0002-4994-2336>

Doctor en Conservación y Restauración de Bienes Culturales en la Universitat Politècnica de València. Profesor Titular de Universidad, en el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, de la Facultad de Bellas Artes y responsable del Laboratorio de Documentación y Registro en el Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València. Como profesor imparte docencia tanto en el Grado de Conservación y Restauración de Bienes Culturales como en el Master Oficial de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Dentro de su docencia imparte asignaturas relacionadas con la teoría de la conservación y Restauración de Bienes Culturales, la aplicación del análisis radiográfico o los sistemas de gestión y catalogación en relación con los Bienes Culturales. Ha dirigido un gran número de trabajos final de grado y así como varias tesis



La restauración de la iglesia de Montesión en Sevilla (2002-2008)

Pedro Barrero Ortega

Resumen: En esta investigación se estudia la restauración llevada a cabo en la iglesia del exconvento dominico de Montesión en Sevilla, entre los años 2002 y 2008, bajo la dirección de los arquitectos Rafael Manzano Martos y Pedro Barrero Ortega. La iglesia, cuya autoría puede atribuirse a Hernán Ruiz II, el arquitecto cordobés que coronó la Giralda, fue desamortizada en 1835 y es actualmente propiedad del Ilustre Colegio Notarial de Andalucía. El objetivo prioritario del artículo es analizar el alcance de las intervenciones, ilustrando su estudio con fotografías y documentos gráficos elaborados para esta publicación, con el fin de darlas a conocer. Dichas intervenciones promovieron, tanto la conservación de la iglesia y otros bienes muebles, como la del Archivo de Protocolos Notariales, uno de los tesoros documentales más trascendentes para el conocimiento de la historia de la ciudad.

Palabras clave: restauración, iglesia, Montesión, Sevilla, Hernán Ruiz II, Archivo de Protocolos Notariales

The restoration of the Church of Montesión in Seville (2002-2008)

Abstract: This research studies the restoration carried out on the church of the former Dominican convent of Montesión in Seville between 2002 and 2008, under the direction of the architects Rafael Manzano Martos and Pedro Barrero Ortega. The church, whose authorship can be attributed to Hernán Ruiz II, the Cordovan architect who crowned the Giralda, was confiscated in 1835 and is currently owned by the Illustrious College of Notaries of Andalusia. The main objective of the article is to analyse the scope of the interventions, illustrating the study with photographs and graphic documents prepared for this publication, in order to make them known. These interventions promoted the conservation of the church and other movable assets, as well as the conservation of the Archive of Notarial Protocols, one of the most important documentary treasures for the knowledge of the history of the city.

Keywords: restoration, church, Montesión, Seville, Hernán Ruiz II, Archive of Notarial Protocols

O restauro da igreja de Montesion em Sevilha (2002-2008)

Resumo: Nesta investigação estuda-se o restauro realizado na igreja do ex-convento dominicano de Montesión em Sevilha, entre 2002 e 2008, sob a direção dos arquitetos Rafael Manzano Martos e Pedro Barrero Ortega. A igreja, cuja autoria pode ser atribuída a Hernán Ruiz II, o arquiteto cordobês que coronou a Giralda, foi desvinculada em 1835 e é atualmente propriedade do Ilustre Colégio Notarial da Andaluzia. O objetivo prioritário do artigo é analisar o alcance das intervenções, ilustrando o seu estudo com fotografias e documentos gráficos elaborados para esta publicação, com o fim de dá-las a conhecer. Essas intervenções promoveram, tanto a conservação da igreja e outros bens móveis, como a do Arquivo de Protocolos Notariais, um dos tesouros documentais mais transcendentes para o conhecimento da história da cidade.

Palavras-chave: restauro, igreja, Montesión, Sevilha, Hernán Ruiz II, Arquivo de Protocolos Notariais

Introducción

No son muchas las investigaciones y referencias bibliográficas sobre la arquitectura de la iglesia conventual de Montesión en Sevilla. Entre ellas pueden destacarse los textos de Félix González (González 1844), José Gestoso (Gestoso 1897) y Matilde Fernández (Fernández 2008), que analizan el edificio en el ámbito de estudios más generales que incluyen otros monumentos sevillanos. A partir de 1927, año en el que la iglesia pasó a ser propiedad del Colegio Notarial de Sevilla para albergar el Archivo de Protocolos Notariales, los notarios José Gastalver (Gastalver 1936) y Manuel Aguilar (Aguilar 1995), como decanos de la institución, le dedicaron sendos escritos a raíz de ese cambio de uso. Un artículo más reciente de Julia Manzano y Pedro Barrero (Manzano, Barrero 2012) analiza sus esquemas arquitectónicos, atribuyendo por primera vez su posible autoría al arquitecto Hernán Ruiz II.

El objetivo de este trabajo es analizar las restauraciones acometidas en la antigua iglesia del convento y la instalación del nuevo Archivo de Protocolos Notariales, dirigidas por los arquitectos Rafael Manzano Martos y Pedro Barrero Ortega entre 2002 y 2008. La metodología se ha basado en la consulta de fuentes bibliográficas e imágenes históricas; aportando nueva documentación gráfica, tras considerar los comentarios de Rafael Manzano, arquitecto autor del proyecto y revisar fotografías sobre las obras.

Breve reseña histórica

El convento dominico de Santa María de Montesión [Figura 1], fue fundado por iniciativa de la noble señora Doña Mencía Manuel de Guzmán. En la Biblioteca Colombina se encontró el testamento-fundación en el que se recoge que donó, a su muerte en 1559, unas casas principales que poseyó en la collación de San Juan de la Palma, en favor de Fray Martín de Mendoza, Prior Provincial de la Orden de Predicadores de Santo Domingo. En dicho documento, aparece que en *"las casas principales de mi morada, que son en esta ciudad de Sevilla, en la collación de San Juan de la Palma, que lindan con casas de Diego de Barrera, Escribano público de Sevilla, se haga un monasterio y convento de catorce Frayles Sacerdotes, Confesores de la Orden de Santo Domingo y se nombre monasterio de Santa María de Montesión, en la*

iglesia del cual, hecho y acabado, sea trasladado mi cuerpo en la capilla mayor del dicho monasterio" (Gestoso 1897). En efecto, el 19 de junio de 1601, fueron trasladados a la capilla mayor de Montesión los restos de la fundadora, procedentes del convento dominico de San Pablo de Sevilla donde había sido enterrada, como así se recoge en la lápida conmemorativa que se encuentra en uno de los muros del presbiterio, donde hoy puede verse.

Según Gestoso, el 30 de agosto de 1576 se puso la primera piedra del convento (Gestoso 1897). Debía referirse a la primera piedra de la iglesia dado que las primeras piedras solemnes suelen corresponder a los inicios de la erección de los grandes templos conventuales.

La vida en el monasterio transcurriría según las directrices marcadas por su fundadora, hasta la llegada de la invasión napoleónica a Sevilla en 1810, fecha en la que José Bonaparte dictó un decreto por el que se ordenaba la *"desaparición de todas las órdenes regulares, monacales, mendicantes y clericales"*. Los monjes dominicos fueron exclaustrados y saqueado el convento que, como otros de la ciudad, fue utilizado como cuartel de las tropas francesas hasta su expulsión en 1812. A partir de entonces volvió a ocuparse por los dominicos (Gestoso 1897).

Los frailes volvieron a ser expulsados en el Trienio Liberal de Fernando VII, sacándose a subasta el monasterio, sin incluir la iglesia, que le fue adjudicado en 1823 al marqués de Arco Hermoso. Aunque al retorno del absolutismo monárquico la venta fue anulada, el marqués ya había iniciado el desmontaje de uno de los claustros cuyas balaustradas llegó a colocar en su propia residencia (Fernández 2008).

La desamortización de Mendizábal de 1835 vino a desalojar definitivamente a los monjes de Santo Domingo. Durante un tiempo la iglesia mantuvo el culto, destinándose sus áreas conventuales a la fabricación de tejidos lanares. Fue en 1868 cuando la Junta Revolucionaria de la *"Gloriosa"* incautó el conjunto del convento con el propósito de trasladar a su iglesia la parroquial de *Omnium Sanctorum*, cuyo templo pretendía demolerse para la creación de una plaza, ampliando el mercado de abastos, siguiendo las tendencias higienistas de la época. No llegaron a cuajar las pretensiones aperturistas de la *"Septembrina"* y todo quedó abandonado. Se requisaron entonces gran parte de las obras pictóricas



Figura 1.- Emplazamiento, maqueta virtual y vista desde la Plaza de Montesión. Dibujos y fotografía FJOG y PBO.

del convento que fueron trasladadas al Museo de Bellas Artes de Sevilla, que había sido inaugurado oficialmente en el antiguo convento de la Merced Calzada en 1841.

En 1885, se acomodaron en Montesión las monjas de la comunidad cisterciense de Santa María de las Dueñas, cuyo convento también había sido desamortizado. Tras unas obras de rehabilitación, en las que se perdieron "...la inscripción sepulcral de la fundadora y un apreciable escudo de los Guzmanes...", quedaron definitivamente instaladas (Gestoso 1897). Las religiosas de la orden se trasladaron en 1909 al convento de Santa Inés. El 5 de agosto de 1927, el Colegio Notarial de Sevilla, representado por su decano D. José Gastalver Gimeno, adquirió la propiedad de la iglesia del antiguo convento, a fin de adecuarla, junto a otras de sus construcciones anexas, para Archivo de Protocolos Notariales de Sevilla (Gastalver 1936).

Descripción de la iglesia

La iglesia responde a un arquetipo renacentista, sin precedentes conocidos en la ciudad, de planta cruciforme y, aunque descrita con forma de cruz latina en la escritura de compraventa, se asemeja a la cruz griega, levemente más desarrollado el brazo de la nave principal. Su anomalía radica en que normalmente estos templos respondían a la tradición medieval de las órdenes mendicantes, que suelen tener nave única al objeto de acoger al mayor número de fieles a los pies del púlpito [Figura 2].

Según González de León, "era una de las más hermosas de la ciudad", y se resolvía mayoritariamente con una excelente fábrica de ladrillos con molduras y apilastrados resueltos con piedra arenisca procedente de la Sierra de San Cristóbal, con la que también se labró la Catedral de Sevilla (González 1844).

Su autoría puede atribuirse a Hernán Ruiz "el Joven", segundo de esta dinastía de artistas, que coronó la Giralda con su

definitivo cuerpo de campanas (Manzano y Barrero 2012). Hernán Ruiz fue Maestro Mayor del Arzobispado de Sevilla, hasta su muerte acaecida el 13 de abril de 1569. Se piensa que fue Asencio de Maeda, llegado a Sevilla desde Granada, quien pudo ser el continuador de la obra del tracista inicial de la iglesia de Montesión.

La iglesia es bastante elemental y reduce su orden mural apilastrado a los ángulos del crucero, cuyos cuatro arcos fajones subdividen el espacio en cinco tramos. Dicho orden se decora con un cajeadado, carente de pedestal y rematado con un capitel dórico con un entablamento muy comprimido. Los muros, labrados de ladrillo, son absolutamente lisos y todos los brazos de la cruz se cierran con bóvedas vaídas de complejas "labores para decorar bóvedas". Las de la nave principal se adornan con un sencillo casetonado y las del crucero presentan decoración de yesería de traza posterior a su construcción inicial (Collantes y Gómez 1999). Se desconoce cómo se cubría originariamente el tramo del crucero y, aunque González de León lo describe cubierto con una cúpula con linterna, es posible que tuviese otra bóveda vaída -similar a las de los brazos del crucero-, con óculo central y linterna, todo ello desaparecido y sin documentación que nos permita recrear su trazado. Decía Gastalver Gimeno, que: "Terminada la instalación del Archivo y ya en funciones sus servicios, nos sorprendió la amenaza de ruina de su airosa bóveda... pudimos acometer a nuestras expensas esta inesperada y costosa obra recientemente terminada" (Gastalver 1936). Se refería, sin duda, a la bóveda del crucero.

Muy característico del genial arquitecto cordobés afincado en Sevilla, es la espadaña montada sobre el muro de saliente del brazo meridional de la iglesia, que marca con su presencia la fachada de ésta que asoma a la calle Feria y a la actual Plaza de Montesión (De la Banda 1974). Se trata de un campanario con dos cuerpos superpuestos. El inferior, que cuenta con dos arcos, queda enmarcado por tres columnas dóricas. Se corona por un entablamento donde

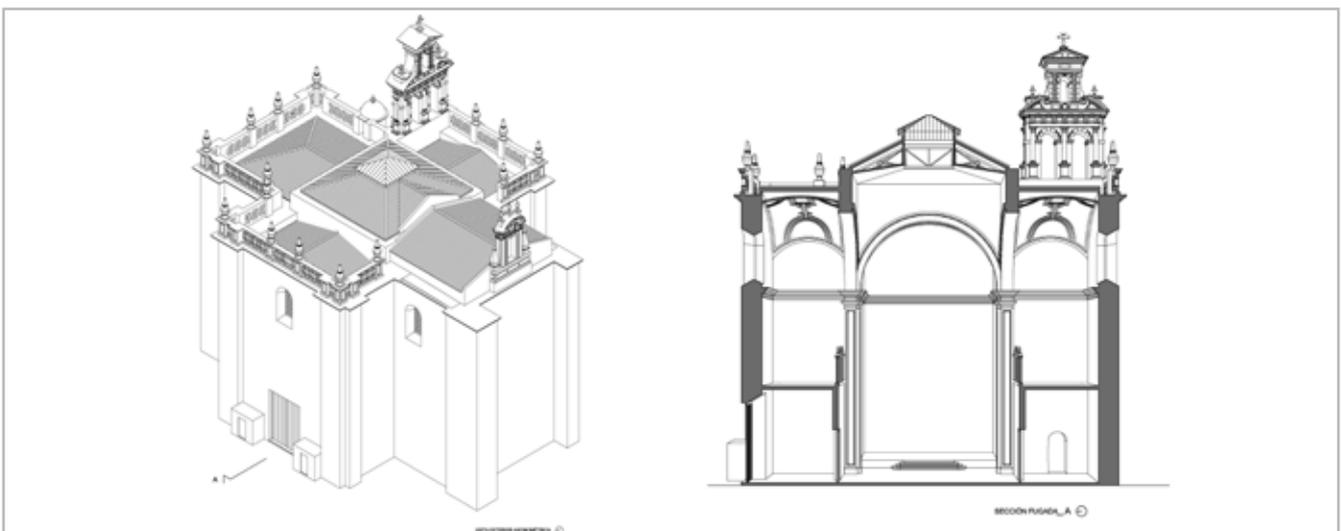


Figura 2.- Volumetría exterior de la iglesia y sección fugada A-A'. Estado previo a las intervenciones. Dibujos FJOG y PBO.

se alternan triglifos y metopas, y se remata con un frontón curvo partido cuyas cornisas acaban en sendas volutas. El segundo cuerpo presenta un único arco, flanqueado por pilastras jónicas, coronado por un frontón triangular.

Toda la cabecera fue completada trasdosando los abovedamientos y rematando las cornisas exteriores con antepechos calados muy del gusto del arquitecto cordobés al que se atribuye su autoría. La nave de los pies de la iglesia se terminó ya en el siglo XVII, cubriéndose con armadura y tejado ventilado por un gran buhardillón que hoy ha quedado exento a modo de espadaña. Esta segunda espadaña es la que Matilde Fernández Rojas describe erróneamente como labor de cantería. Se trata de una obra de finales del siglo XVII o principios del XVIII realizada con ladrillo y cerámica. La iglesia prescinde, en este tramo de los pies, de los antepechos pétreos calados que se conservan en el resto de sus brazos. Esto podría responder a que quedó inacabada o dañada tras el terremoto de Lisboa de 1755. Esa, además, sería la razón por la cual se realiza en dicho tramo una cubierta de tejas sobre armadura leñosa, frente al resto de las cubiertas, en las que sus tejados se trasdosan directamente sobre las bóvedas [Figura 2].

El archivo de protocolos notariales en la iglesia de Montesión a partir de 1927

El Archivo de Protocolos Notariales de Sevilla es una de las fuentes principales para investigar una parte fundamental de la historia de la ciudad, en todos sus rasgos y manifestaciones, desde las relaciones familiares a las económicas. En sus cláusulas testamentarias se traslucen ideologías, o simplicidades de la vida cotidiana, que conforman, en su aparente sencillez, los hilos que han ido tejiendo nuestra intrahistoria. Dicho archivo se nutre de todos los documentos públicos autorizados por cada uno de los notarios del distrito de Sevilla, cumplida ya una primera etapa de permanencia en la propia notaría donde se formalizan (Aguilar 1995).

En tiempos pretéritos, fue frecuente concertar en escrituras notariales cualquier relación interpersonal. Así, por ejemplo, se formalizaron contratos de aprendizaje; encargos de obras artísticas -pictóricas o escultóricas-, que solían especificar características, precios y plazos de entrega, lo que ha posibilitado atribuir la autoría a muchas de ellas, incluyendo numerosas obras de la imaginería de nuestra Semana Santa sevillana. En consecuencia, el de los protocolos notariales es un conglomerado vivaz y abigarrado de datos y sucesos, que se alinean con espontaneidad en los anaqueles de sus archivos. El conjunto de documentos que lo conforman ha tenido una vida azarosa a lo largo de su historia, e incluso se utilizaron para construir barricadas defensivas durante la invasión francesa.

Fue en el pasado siglo, concretamente en 1927, cuando el Colegio Notarial de Sevilla adquirió la iglesia del extinguido convento dominico de Montesión, abandonada y derruida

en parte tras la desamortización de Mendizábal. A partir de entonces, se efectuaron las obras pertinentes cubriendo con una montera el tramo del crucero, cuya bóveda amenazaba ruina, y dándole acceso directo a la calle Feria mediante un cuerpo añadido al que se le dotó de una portada pétrea de sabor clasicista. También se construyó una sala de investigadores y las tres tribunas labradas sobre los pies de la iglesia y los dos brazos del crucero, a fin de aumentar la capacidad y número de las estanterías de madera donde se archivaban los volúmenes de protocolos. Las obras de adaptación para albergar el Archivo de Protocolos Notariales fueron dirigidas por el arquitecto D. José Gómez Millán, inaugurándose solemnemente el día 6 de octubre de 1927 (Gastalver 1936).

Según se recogía en la memoria de la Fase 1ª del Proyecto Básico y de Ejecución de Restauración de la Iglesia del Exconvento Dominicano de Montesión y Sistematización del Archivo de Protocolos Notariales de Sevilla, en la década de los sesenta, el edificio, un tanto abandonado a su suerte, fue víctima de los temporales de lluvia y los estragos del tiempo, produciéndose fuertes goteras en sus cubiertas, especialmente por la montera acristalada que sustituyó a la bóveda central del crucero. No menos importantes eran las humedades de capilaridad, en parte debidas a defectos del alcantarillado, en parte consecuencia de la ausencia de soleras bajo los pavimentos -dispuestos directamente sobre el terreno-, y que, bajo el peso de las estanterías, se habían partido transmitiendo al ambiente las humedades del elevado nivel freático del suelo sevillano. Una invasión de termitas procedentes del subsuelo había penetrado a través de los pies derechos de dichas estanterías, afectando no solo a la madera, sino también a la celulosa del papel de los protocolos humedecidos por la lluvia.

Tanto para garantizar la conservación de tan importante legado monumental como para colaborar en la formación del nuevo Archivo Histórico Provincial, se suscribió un acuerdo entre el Colegio Notarial de Sevilla y la Dirección General de Archivos, por el que se almacenaba el núcleo más importante de legajos, hasta los últimos cien años, en el edificio de los antiguos Juzgados Municipales en la calle Almirante Apodaca, quedando los protocolos recientes depositados en el Colegio Notarial. Al mismo tiempo se planteaba la urgente necesidad de habilitar la mayor capacidad posible para acoger los protocolos históricos de otras ciudades de las provincias de Andalucía Occidental -Cádiz, Córdoba, Huelva y Sevilla- que dependen del Colegio Notarial hispalense. En 1998 se propuso una restauración profunda que habría de combinar el respeto a la estructura original de la antigua iglesia, dotándola de los medios técnicos necesarios para un archivo moderno.

El proyecto redactado por el arquitecto Rafael Manzano Martos, en orden a su ejecución, se dividía en dos fases fundamentales [Figura 3]. En la primera, desarrollada entre 1998 y 2000, se realizaba la edificación destinada a almacenamiento principal -silo principal- con independencia del templo, así como la vivienda y el coro

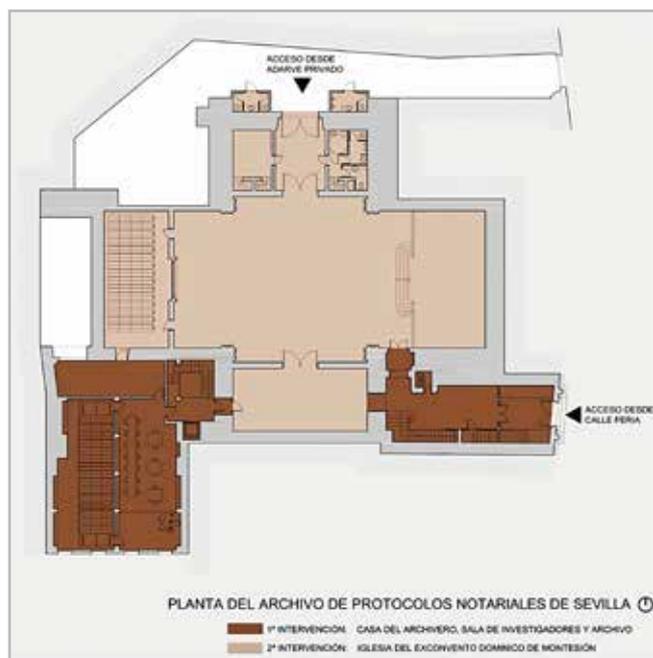


Figura 3.- Fases de intervenciones en la restauración del Archivo de Protocolos Notariales de Sevilla. Estado proyectado. Dibujo de FJOG y PBO.

bajo del brazo de mediodía. Realizada esta operación, se trasladaba todo el archivo, almacenado en las naves de la iglesia, a su lugar definitivo [Figura 4], liberando el edificio eclesial para su total restauración, en una segunda fase de actuación, en la que también se ejecutaría el silo del brazo oeste y su conexión con el archivo principal.

La primera fase del proyecto contemplaba la nueva construcción del silo principal, con cuatro plantas de escasa altura, resuelto con estructura mixta -metálica y hormigón armado-, dotado de su propia escalera y un montacargas. Este edificio ocupa las antiguas dependencias, carentes

de valor artístico y escasa calidad constructiva, situadas en el ángulo suroeste de la iglesia y que, antes de las intervenciones, se destinaban a sala de investigadores, una destartalada escalera y parte de la vivienda del conserje.

El nuevo silo proyectado tiene capacidad para albergar prácticamente todos los volúmenes acumulados en la iglesia. No obstante, se proponía destinar a archivos, acondicionándolos debidamente y como silos menores, la tribuna del coro meridional y la nave de los pies de la iglesia. Estas áreas, en sus dos plantas, quedarían enlazadas con el silo principal, y en ellas se recogería el espacio necesario para la previsión de crecimiento del volumen de protocolos.

Esa primera fase se complementaba construyendo en el vestíbulo, trazado en el segundo cuarto del siglo XX por D. Vicente Traver y Tomás, una escalera para dar acceso, en su planta alta e independiente del archivo, a la vivienda del conserje y custodio del mismo (Manzano 1998). Para ello, se precisaba dividir esa planta alta con un entresuelo, dado que su altura lo permitía.

Quedaba así libre la nave central de la iglesia, que pretendía destinarse a salón de actos culturales o conciertos, así como espacio eclesástico para celebrar las fiestas patronales. Se proyectaba la decoración de la iglesia con los grandes cuadros cedidos por el Museo de Bellas Artes de Sevilla al Archivo de Protocolos Notariales, que fueron trasladados a este lugar hace años. Se depositaron aquí, en tiempos de la posguerra española, una serie de cuadros, considerados de menor valor artístico a los expuestos en el museo y en pésimas condiciones de conservación (Manzano 1998). Algunos de ellos eran copias, como la *Inmaculada Concepción "La Colosal"*, cuyo original puede admirarse hoy en la iglesia del exconvento de la Merced Calzada, actual Museo de Bellas Artes de Sevilla.



Figura 3.- Protocolos en el presbiterio de la iglesia, que fueron trasladados, y archivadores en el nuevo edificio proyectado para su almacenamiento -silo principal-. Fotografías PBO.

La restauración de la iglesia

El viajero inglés Richard Ford, en su *Hand-Book for Travellers in Spain*, advertía que el enjalbegamiento, con la fatal cal de Morón, era la maldición de Sevilla (Rodríguez 2007). Fue propósito fundamental de la restauración, eliminar emparchados, revestidos y encalados añadidos en épocas posteriores, para recuperar las texturas de sus magníficas fábricas latericias y pétreas [Figura 5]. Se trataba, en definitiva, de redescubrir las esencias materiales de obra tan singular, poniendo en valor sus fundamentos estructurales originales.

La restauración eclesial, aun contenida administrativamente en una misma fase de intervenciones -la segunda-, hubo de ceñirse, por razones presupuestarias, a varias etapas organizadas por zonas. El criterio de actuación venía marcado por un recorrido que se iniciaba en los pies de la iglesia y concluía en su presbiterio. Siguiendo el mismo itinerario temporal, seguidamente se analiza la restauración por áreas de intervención.

—Intervenciones en los pies de la iglesia

Se rehabilitó el coro de los pies [Figura 6], construyendo una nueva entreplanta apoyada sobre losa de hormigón, con

pilares y vigas metálicas como estructura independiente a la preexistente, para aumentar la capacidad de almacenamiento de protocolos, y conectando los dos niveles superiores -nueva entreplanta y tribuna-, con el silo principal edificado en fase anterior. Ya en esa primera campaña, se había realizado la apertura mural de conexión del coro, en su planta baja, con el nuevo edificio de archivo.

Para el diseño de la fachada interior de los pies, se mantuvo hacia la iglesia el carácter de coro bajo conventual, muy hermético, empleando celosías que recuerdan la clausura monástica para impedir vistas a los archivadores tipo "compactus" que aquí se almacenan. A eje de la composición en la planta inferior, se dispone un gran hueco central con enrejado tupido de madera, a cuyos laterales se sitúan sendas puertas de acceso, con recercos y flanqueadas por pilastras toscanas, como una simplificación del dórico empleado en el orden mural apilastrado del templo. En la entreplanta, marcada de la anterior por una imposta, se disponen, a eje vertical de las puertas inferiores, dos óculos ovalados, también cerrados con celosías y en plano rehundido respecto a sus enmarcados rectangulares. Ocupa el centro, sobre un plano paramental sobresaliente, otro rehundido diseñado para albergar, restaurada para la ocasión, la obra pictórica la *Multiplicación de los panes y los peces*, procedente del Museo de Bellas Artes de



Figura 5.- Imágenes del estado anterior a las intervenciones en la iglesia. Fotografías de PBO.



Figura 6.- Intervenciones en los pies de la iglesia. Fotografías de PBO.

Sevilla donde se encontraba almacenada. Se trata de una versión de época del conocido cuadro del mismo tema de Bartolomé Esteban Murillo, encargada por Miguel de Mañara como recordatorio de las obras de misericordia corporales, y que se conserva en la iglesia del Hospital de la Santa Caridad de Sevilla.

Se iniciaban, además, los picados de los revestimientos de las fábricas de ladrillo que conforman los paramentos de esta zona, retacando con piezas de tejar de apariencia similar sus antiguos mechinales, y empleando morteros de cal en sus llagueados, concebido el conjunto ahora como fachada interior de obra vista. Al picar los revestidos murales, aparecieron varios cajones de tapia que fueron enlucidos con los mismos morteros de cal empleados para los llagueados de los ladrillos. Igualmente, se procedía a la limpieza de sus elementos pétreos, eliminando los emparchados en los cajeados de sus arcos fajones. Continuaban las tareas con los enjalbegados de arcos, cornisas y bóveda casetonada, empleando jabelgas aditadas para obtener la coloración pretendida en cada uno de esos elementos. Se repusieron, reparadas y adaptadas a la nueva fachada, las antiguas celosías del coro alto que permiten ocultar otro cuerpo de archivadores. Con la limpieza, repasos generales y reposiciones necesarias en los tejados que cubren la nave de los pies, se concluían las actuaciones en este área.

—Intervenciones en los brazos del crucero

Seguidamente, se iniciaron los trabajos de rehabilitación de los coros laterales [Figura 7], introduciendo un entresuelo destinado a uso administrativo en ambos extremos del ala norte, con sus respectivas escaleras -solo una de ellas se prolongó hasta la tribuna-, al tiempo que se consolidaba estructuralmente el forjado de dicha tribuna. En el brazo de mediodía, se trasdosó un nuevo forjado al alfarje preexistente, para garantizar su capacidad portante, en previsión de las cargas estimadas para los archivadores de protocolos.

Se resolvieron simétricamente los frentes de ambos coros, abriendo un hueco en el frente meridional, idéntico al existente en el brazo del evangelio, conectando así el de la epístola con el espacio principal del templo. En ambos huecos se han dispuesto recercados, prolongando sus fajas verticales para la formación de pilastras hasta la cornisa superior de remate. A eje del dintel de la puerta, se incluye una clave moldurada sobre la que se sobrepone un rehundido ovalado para insertar una celosía de madera. Sendas pilastras, una a cada extremo, completaban la composición de los frentes analizados. También en los coros altos laterales fueron restituidas sus antiguas celosías.

Prosiguieron los picados de revestimientos en paramentos de ladrillo, retacando ausencias en antiguos mechinales y reponiendo pérdidas en puntos de deterioros significativos



Figura 7.- Intervenciones en los brazos laterales. Fotografías de PBO.

de material. Limpiezas generales y eliminación de aditamentos en elementos pétreos, precedían a los enjalbegados de arcos, cornisas y bóvedas de yesería. Las reparaciones de las cubiertas que gravitan sobre los brazos cerraban las previsiones presupuestarias para la zona.

— Intervenciones en el crucero

La tercera campaña de intervenciones en la iglesia contemplaba la construcción de la bóveda del crucero, desmontando la tablazón colocada, según el testimonio de Gastalver, recién terminada la instalación del Archivo y ya en funciones sus servicios. Para colgar la nueva bóveda de escayola se reutilizaría la estructura metálica que sustentaba el entramado de madera eliminado. El arquitecto Rafael Manzano, consciente de que González de León describía en el crucero una cúpula con linterna, propuso, por diversas razones, una bóveda vaída, como las demás del conjunto, con óculo circular central, cuya vidriera seguía el diseño del resto de los ventanales que dan luz al templo [Figura 8]. Si bien esta fue la versión finalmente aceptada, hubo alguna propuesta que incluía una linterna en su diseño. Siguiendo la metodología general de actuaciones, se revisaron sus cubiertas, con limpieza

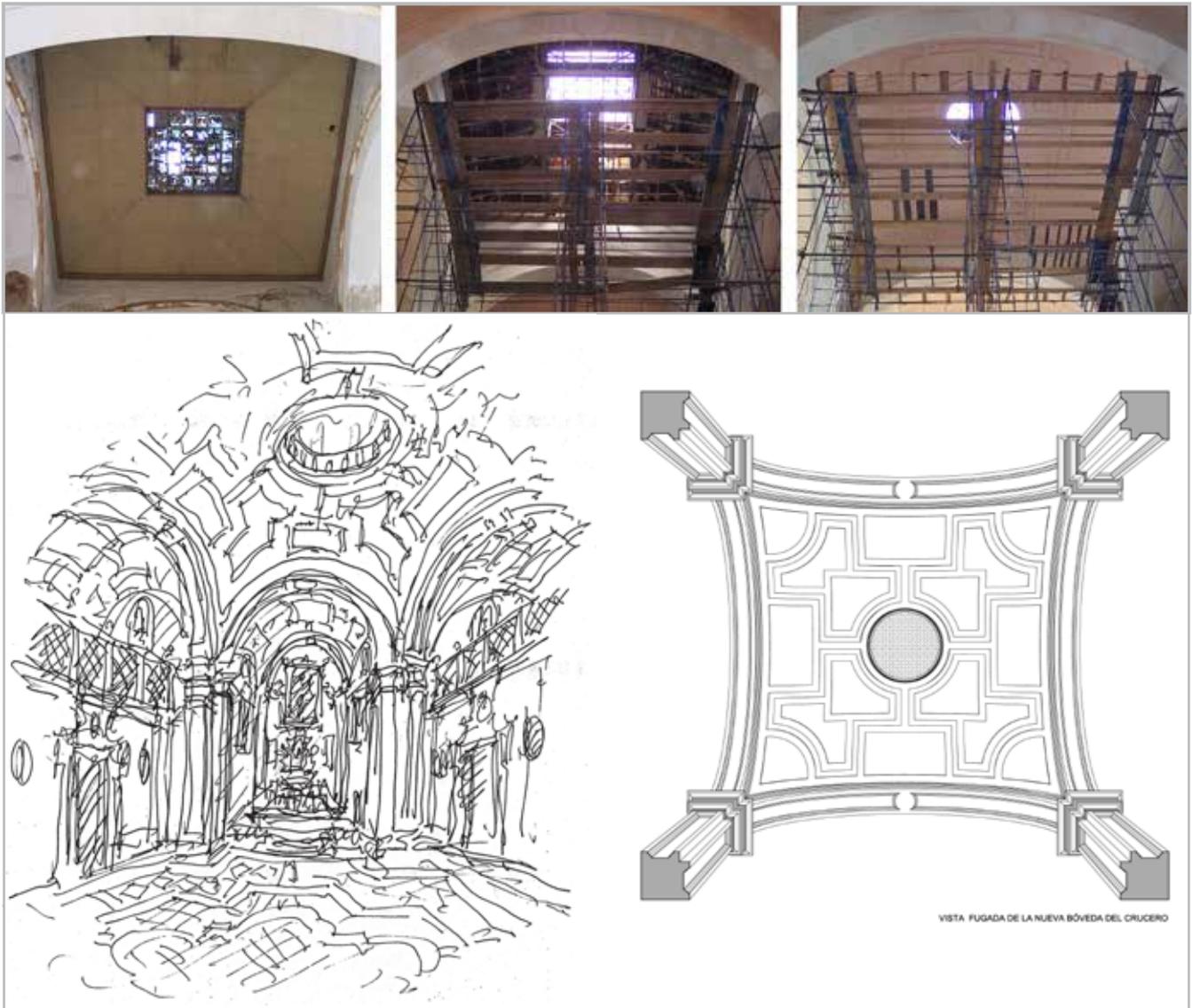


Figura 8.- Intervenciones en el crucero. Fotografías de PBO. Dibujos de RMM, FJOG y PBO.

general y reposición de piezas defectuosas, reservando parte del presupuesto para las reparaciones necesarias en la montera central, de cuatro paños acristalados con estructura metálica.

Desmontados los suelos, muy deteriorados por las humedades, se ejecutó una solera armada sobre la que apoyaría el sistema de andamiaje necesario, de mayor altura, para la ejecución de la bóveda. Así mismo, se retiraron los restos del antiguo zócalo cerámico del siglo XVI.

— Intervenciones en el presbiterio

Como en el caso de la nave del crucero, se practicó una excavación en el presbiterio para incluir una solera armada, mejorando el aislamiento con el terreno y donde apoyaría el andamiaje necesario para las obras en la cabecera [Figura 9]. Durante el transcurso de las excavaciones, se hallaron

la placa conmemorativa que testifica el enterramiento de la fundadora del convento en su capilla mayor, así como el escudo heráldico de D^a. Mencía labrado en mármol de gran calidad. Ambas piezas, perdidas en tiempo incierto y de las que teníamos noticias por Gestoso, fueron colocadas en los muros del presbiterio una vez restaurados.

Al igual que en el resto de la iglesia, se llevó a cabo el picado de paramentos dejando a cara vista y libre de cal los ladrillos de su fábrica. Los elementos de ornamentación pétreo se sometieron a tratamientos de limpieza, aplicándoles posteriormente los enjalbegados correspondientes. Similar proceso se siguió con la bóveda que cubre este tramo. Limpiezas generales y reparaciones puntuales en los tejados garantizaban la estanqueidad de sus cubiertas.

La decoración de escayola diseñada para enmarcar los cuadros almacenados en el antiguo Convento de la Merced Calzada, cerraban las partidas presupuestarias



Figura 9.- Intervenciones en el presbiterio. Fotografías de PBO.

destinadas para la restauración de los paramentos absidales. Presidiendo el testero principal, aparece una copia de la *Inmaculada Concepción "La Colosal"* de Murillo, cuyo original, hoy en el Museo de Bellas Artes, procede del desaparecido convento de San Francisco en Sevilla. Sobre él se ha situado *El sueño de San José*, una obra decimonónica de escasa calidad, en cuyo fondo aparece una Inmaculada, mostrada por un ángel al santo, que constata la persistencia del murillismo en la pintura sevillana en fecha tan tardía. Para los paños laterales se han reservado dos obras de dimensiones similares. En el lado del evangelio, *Nuestra Señora de la Correa*, óleo de calidad excelente donde se representa la aparición de la virgen, con un ángel y San Juan Bautista, a San Agustín y Santa Mónica. Se repite así la fórmula que recuerda a la Virgen entregando el rosario a Santo Domingo de Guzmán, fundador de la orden de los dominicos a la que pertenecía el convento. En el de la epístola, un hermosísimo *Pentecostés* que recoge la consabida escena descrita en el Acta Apostolorum de San Lucas. Lo firma Ludovicus -no aparece apellido-, y está fechado en 1626. Se desconoce su procedencia, y, sin duda, es de máxima calidad pictórica y de la Escuela Napolitana. Todos los cuadros citados fueron restaurados con cargo a los presupuestos del Colegio Notarial de Sevilla con motivo de las obras en el edificio.

— Otras intervenciones

Se incluyen en este apartado la reposición de la solería de la nave central y el presbiterio, resuelta con mármoles blancos, amarillos y rojos, así como el zócalo de piedra colocado en el perímetro del interior de la iglesia, que sustituía al viejo alicatado cerámico anterior muy deteriorado.

En una alacena del coro bajo del brazo de la epístola, se instaló, tras su restauración, un altar barroco del siglo XVIII, en cuya hornacina central se ha colocado una imagen de San Juan Evangelista, patrón de los notarios debido al testimonio que nos ofrece al término de su Evangelio: "*Este es el discípulo que da testimonio de estas cosas y el que las escribió, y sabemos que su testimonio es verdadero*".

También se acometieron obras de mejora en los añadidos

colaterales a la puerta de la iglesia en el nártex de acceso por el adarve privado, para dotarlos de cierta dignidad. Estas construcciones constituyen los servicios para uso de la Hermandad de Montesión, cuya capilla ocupa el ángulo nordeste del templo dominico. Al mismo tiempo se ornamentaba con un sencillo recercado la puerta de acceso a la iglesia. Se eliminaron revestimientos y encalados de la fachada al callejón, dejando a la vista su fábrica de ladrillo, en la que apareció el despiece del dovelaje de un arco sobre el dintel de la citada puerta.

Entre las últimas tareas se destacan las reparaciones y enjalbegados en las zonas más deterioradas de las fachadas exteriores de la iglesia, en las que no se incluyeron, por razones presupuestarias, ni la intervención en su espadaña pétreo, ni la de sus magníficos antepechos calados. Todo ello habría supuesto la culminación de la restauración del templo, devolviendo a la ciudad una mejor imagen de los volúmenes emergentes de tan singular edificio sevillano.

Conclusiones

Este trabajo ofrece los resultados de un minucioso análisis de la restauración llevada a cabo en la iglesia del antiguo convento dominico de Montesión. Se describe y detalla dicha intervención, aportando nueva documentación gráfica, poniendo en valor el único vestigio que se conserva de este conjunto monumental, fundado por Doña Mencía Manuel de Guzmán y construido en el siglo XVI. Tras ser desamortizado en 1835, sufrió los avatares del tiempo hasta que en 1927 el Colegio de Notarios de Sevilla adquirió la propiedad de la iglesia, a fin de adecuarla, junto a otras de sus construcciones anexas, para albergar el Archivo de Protocolos Notariales de Sevilla.

Hacia 1970 el edificio presentaba un precario estado de conservación a causa de las importantes humedades que padecía, procedentes tanto de las filtraciones de aguas por sus cubiertas como de la capilaridad del terreno. Las estanterías de madera dispuestas en las naves de la iglesia para almacenar los protocolos notariales, sufrían ataques de xilófagos que no solo afectaron a la madera, sino también a la celulosa del papel de los protocolos humedecidos

por las lluvias. Para garantizar la conservación de tan importante legado monumental, en 1998 se propuso una restauración profunda que habría de combinar el respeto a la estructura original de la antigua iglesia, dotándola de los medios técnicos necesarios para un archivo moderno.

El proyecto, redactado por el arquitecto Rafael Manzano Martos, proponía dos fases de intervenciones. En la primera (1998-2000), se construía el silo principal anexo a la iglesia. Realizada esta operación, se trasladaba todo el archivo, almacenado en las naves del templo, a su lugar definitivo, liberando el edificio eclesial para su total restauración en una segunda fase de actuaciones (2002-2008). Las intervenciones en la iglesia se resolvieron, por razones presupuestarias, en varias etapas organizadas por zonas.

En general, se eliminaron emparchados, revestidos y encalados añadidos en épocas posteriores, para recuperar las texturas de sus magníficas fábricas latericias y pétreas, poniendo en valor los fundamentos estructurales originales. Las reparaciones en sus cubiertas y la ejecución de una solera para mejorar el aislamiento con el terreno, contribuían a evitar las humedades que afectaron al edificio y a su valioso contenido documental. Tanto en el coro de los pies como en los brazos, se mantuvo en sus nuevas

fachadas hacia la iglesia el carácter conventual, empleando celosías que recuerdan la clausura monástica para impedir vistas a los archivadores que allí se almacenaron. Una de las actuaciones más singulares fue la ejecución de la bóveda del crucero, resuelta vaída como las demás del conjunto, con óculo circular central y cuya vidriera sigue el diseño del resto de los ventanales que dan luz al templo.

Durante las intervenciones en la cabecera, se localizaron la placa conmemorativa del enterramiento de la fundadora en la capilla mayor del convento y su escudo heráldico labrado en mármol de gran calidad. Ambas piezas fueron colocadas en los muros del presbiterio. Completaban las obras en el interior de la iglesia la decoración proyectada para enmarcar los cuadros almacenados en el antiguo Convento de la Merced Calzada, restaurados para la ocasión con cargo al colegio notarial. El estado de conservación actual en general es bueno, si bien se han detectado puntualmente humedades de capilaridad ascendentes en zonas donde, por razones presupuestarias, no se aplicaron barreras anticapilares. De este modo, se ha recuperado el edificio, pudiendo percibirse su trazado cruciforme y los abovedamientos del conjunto, destinándose ahora a salón de actos culturales o conciertos, así como espacio eclesiástico para celebrar las fiestas patronales [Figura 10].

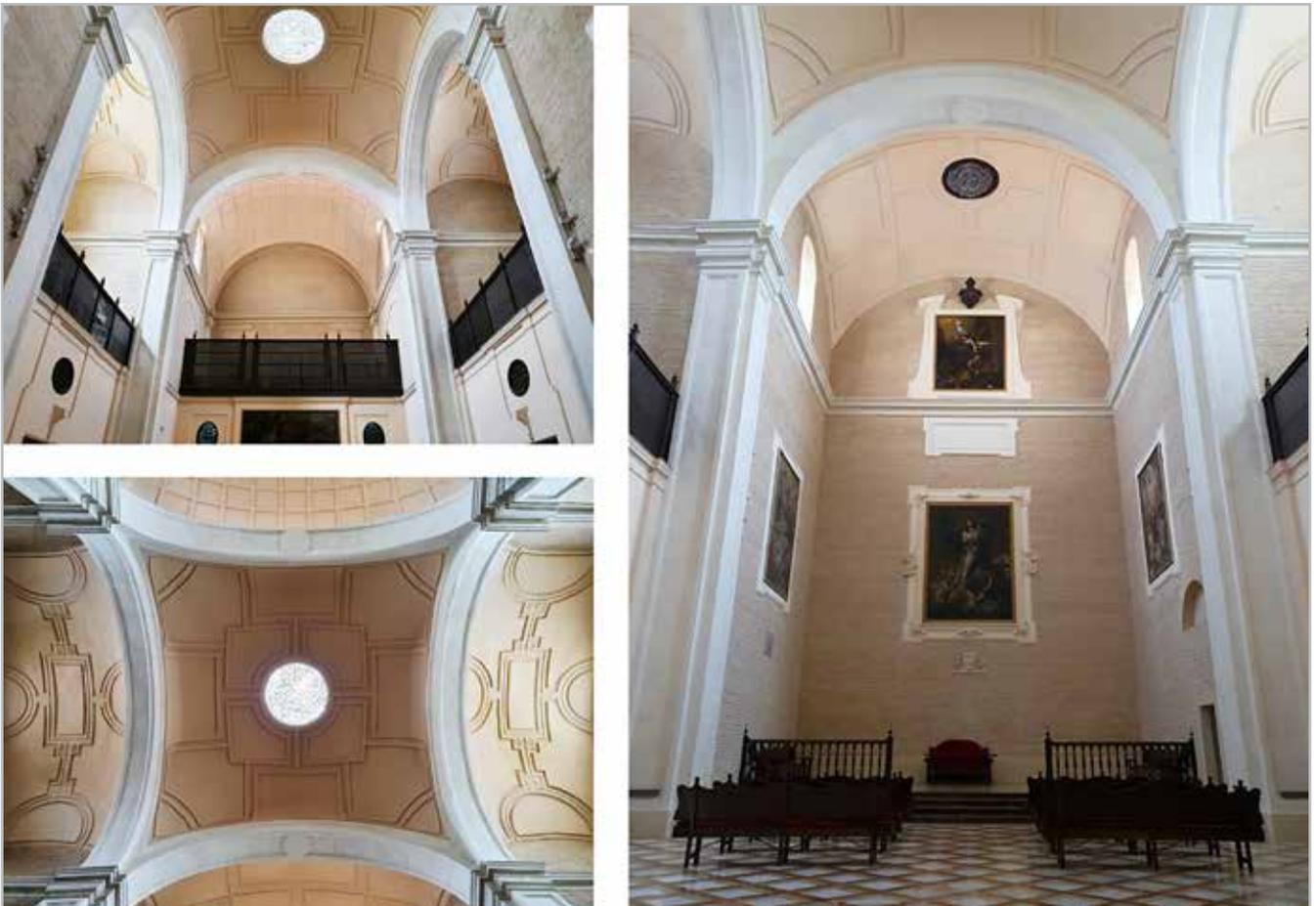


Figura 10.- Imágenes de la iglesia restaurada. Fotografías de PBO.

Señalar, por último, que las actuaciones analizadas han promovido la conservación de una de las iglesias más singulares de la ciudad, atribuida al arquitecto que coronó la Giralda con su cuerpo de campanas; también la de los bienes muebles que hoy la decoran, como son los cuadros restaurados para la ocasión y cedidos al Colegio de Notarios hispalense por el Museo de Bellas Artes de Sevilla; y, finalmente, la del propio Archivo de Protocolos Notariales, cuyos documentos centenarios constituyen una de las fuentes más genuinas para el conocimiento de la historia de la ciudad, así como de las personas que durante siglos dejaron huella en la vida de nuestro pueblo.

Referencias

AGUILAR GARCÍA, M. (1995). *El colegio notarial de Sevilla: una casa al servicio de la corporación*. Ilustre Colegio Notarial de Sevilla. Sevilla.

COLLANTES DE TERÁN DELORME, F.; GÓMEZ ESTERN, L. (1999). *Arquitectura Civil Sevillana*. Área de Cultura. Excmo. Ayuntamiento de Sevilla. Editorial Castillejo. Tercera edición. Sevilla.

DE LA BANDA Y VARGAS, A. (1974). *El arquitecto andaluz Hernán Ruiz II*. Diputación Provincial. Sevilla.

FERNÁNDEZ ROJAS, M. (2008). *Patrimonio Artístico de los conventos masculinos desamortizados en Sevilla durante el s. XIX*. Diputación de Sevilla, 226-227.

GASTALVER GIMENO, J. (1936). El Archivo de Protocolos de Sevilla [Discurso leído ante la Academia Sevillana de Buenas Letras en su recepción pública el día 26 de enero de 1936]. *Boletín de la Real Academia Sevillana de Buenas Letras*. Sevilla.

GESTOSO Y PÉREZ, J. (1897). *Sevilla Monumental y Artística*. Ayuntamiento de Sevilla. Sevilla, 64-66.

GONZÁLEZ DE LEÓN, F. (1844). *Noticia artística, histórica y curiosa de todos los edificios públicos, sagrados y profanos, de ésta muy noble, muy leal, muy heroica e invicta ciudad de Sevilla, y de muchas casas particulares con todo lo que le sirve de adorno artístico, antigüedades, inscripciones y curiosidades que contienen*. Sevilla, Vol. I.

MANZANO MARTOS, R. (1998). *Proyecto Básico y de Ejecución de Restauración de la Iglesia del Exconvento Dominicano de Montesión y Sistematización del Archivo de Protocolos Notariales de Sevilla (1ª Fase)*. Sevilla.

MANZANO PÉREZ DE GUZMÁN, J.; BARRERO ORTEGA, P. (2012). "La Iglesia del Convento Dominicano de Montesión en Sevilla. Una posible atribución a Hernán Ruiz II a partir de recientes levantamientos". *Revista EGA*. 19: 78-89. <https://doi.org/10.4995/ega.2012.1360>

RODRÍGUEZ BARBERÁN, J. (2007). *Richard Ford y Sevilla (1830-1833) Una Antología*. Clásicos sevillanos. Sevilla, 104.

Autor/es



Pedro Barrero Ortega

pbarrero@us.es

Universidad de Sevilla

<https://orcid.org/0000-0002-0751-8713>

Pedro Barrero Ortega es Doctor Arquitecto y Profesor Asociado de la Universidad de Sevilla. Pertenece al grupo de investigación "HUM976. Expregráfica. Lugar, Arquitectura y Dibujo". Su extensa actividad profesional se ha desarrollado durante décadas, junto a Rafael Manzano Martos, en variadas intervenciones en patrimonio arquitectónico. Es autor de diversos artículos en dicho ámbito desde el punto de vista de la expresión gráfica arquitectónica.

Artículo enviado el 01/06/2021

Artículo aceptado el 25/11/2021



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1010>

Chemistry of 19th Century Lime Mortar on a *tabique Pampango* (Wattle-and-Daub) from the Philippines

Jan-Michael C. Cayme

Abstract: The chemical characterization of a thick lime mortar coating on a wall construction method in the Philippines called *tabique Pampango*, or wattle-and-daub method, is reported in this study. The daub material from a 19th century Spanish Colonial Period church convent in Loboc, Bohol, was analyzed using X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Thermogravimetric Analysis (TGA) and sieve analysis. These analyses demonstrate that the daub material comprises a largely calcitic binder with clay minerals naturally present in the raw material or clayey soils added intentionally. The presence of clay minerals made the binder hydraulic or hardened through added water. Fine-sized aggregates are abundant in the daub material, making it suitable for non-load bearing applications. This study provided a chemical basis on the construction techniques employed during the colonial period in the Philippines that is useful for advancing conservation work and local historical knowledge.

Keywords: wattle-and-daub, *tabique Pampango*, XRF, XRD, FTIR, TGA, sieve analysis, Philippines

Química del mortero de cal del siglo XIX en una *tabique Pampango* (Wattle-and-Daub) de Filipinas

Resumen: En este estudio se informa sobre la caracterización química de un revestimiento de mortero de cal espeso en un método de construcción de muros en Filipinas llamado *tabique Pampango*, o método de acacia y barro. El material de embadurnamiento de un convento de la iglesia del período colonial Español del siglo XIX en Loboc, Bohol, se analizó mediante fluorescencia de rayos X (XRF), difracción de rayos X (XRD), espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), análisis termogravimétrico (TGA) y análisis granulométrico. Estos análisis demuestran que el material de embadurnamiento comprende un aglutinante principalmente calcítico con minerales arcillosos presentes de forma natural en la materia prima o suelos arcillosos añadidos intencionalmente. La presencia de minerales arcillosos hizo que el aglutinante fuera hidráulico o se endureciera mediante la adición de agua. Los agregados de tamaño fino abundan en el material de embadurnamiento, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que no soportan carga. Este estudio proporcionó una base química sobre las técnicas de construcción empleadas durante el período colonial en Filipinas que es útil para promover el trabajo de conservación y el conocimiento histórico local.

Palabras clave: acacia y barro, *tabique Pampango*, XRF, XRD, FTIR, TGA, análisis de tamices, Filipinas

Química da argamassa de cal do século XIX num Tabique Pampango (Wattle-and-Daub) das Filipinas

Resumo: Neste estudo é relatada a caracterização química de um revestimento de argamassa de cal espessa num método de construção de paredes nas Filipinas, denominado *tabique Pampango*, ou método wattle-and-daub. O material de argamassa de um convento da igreja do período colonial Espanhol do século XIX em Loboc, Bohol, foi analisado mediante Fluorescência de raios X (XRF), Difrração de raios X (XRD), Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), análise termogravimétrica (TGA) e análise de peneira. Estas análises demonstram que o material é composto por um aglutinante amplamente calcítico com minerais argilosos presentes de forma natural na matéria-prima ou solos argilosos adicionados intencionalmente. A presença de minerais argilosos tornou o aglutinante hidráulico ou endurecido por meio da adição de água. Os agregados de tamanho fino são abundantes, tornando-o adequado para aplicações que não suportam carga. Este estudo proporcionou uma base química sobre as técnicas de construção empregues durante o período colonial nas Filipinas, que é útil para o avanço do trabalho de conservação e para o conhecimento histórico local.

Palavras-chave: argamassa, wattle-and-daub, *tabique Pampango*, XRF, XRD, FTIR, TGA, análise de peneira, Filipinas

Introduction

The wattle-and-daub construction method is a common building material that has existed since ancient times and is characterized by its various forms and manufacturing traditions depending on the country of origin (Chetwin 2007; Singh 2008; Wyżgoł and Deptuła 2020). It is a combination of two indigenous building materials usually employed for wall panels and sometimes in floorings (Sulas *et al.* 2019). It is composed of the “wattle,” which is a woven latticework of wooden strips or wooden slats and plastered with a sticky material called the “daub.” The daub can be made of lime mortar, clay, or mud and may be mixed with straw and animal dung (Graham 2003). The central feature of this method is the efficient usage of available local raw materials from the surroundings.

In the Philippines, this method is locally known as “*tabique Pampango*” and is the preferred technique for wall partitions during the Spanish Colonial Period. The term “*tabique*” is Spanish for “partition,” and “*Pampango*” is derived from the Philippine province of “Pampanga,” where this technique was believed to have flourished. This version of wattle-and-daub is described as a thin wall made from a scaffolding of interwoven pieces of bamboo or other wood material and patched with a mixture of lime and sand. The daub serves to achieve a smooth outer finish and makes the wattle sturdier (Jose 1991; Jose 2003). Only few structures in the Philippines that employed this technique have survived and are mostly found in wall partitions of old church convents and clerestory in the provinces of Bohol, Cebu, and Siquijor (Sembrano 2016).

The chemical composition of the daub is the focus of this research due to its susceptibility to variations caused by human interventions during production and chemical changes involved in the complex raw material. In the Philippines, it is believed that lime mortar technology was introduced during the Spanish Colonial Period and influenced how daubs are locally produced. The scarcity of chemical information on daubs made during the 19th century representing a combination of indigenous knowledge with colonial architectural influence is what this study aims to address. Chemical studies on the daub material in the wattle composite are mostly related to archaeological contexts. Different analytical techniques were utilized on excavated daub samples to determine the firing temperature during production (Parr and Boyd 2002; Boyd and Parr 2007), the manufacturing techniques employed based on the composition (Amicone *et al.* 2020; Ceccarelli *et al.* 2020), its provenance (Taubald and Biró 2007), and its raw material similarities with other excavated ceramic vessels (Shergur *et al.* 2003; Duwe 2005). In Portugal, where the daub material is also referred to as *tabique*, physical and chemical characterizations were performed on several traditional daub structures in the Alto Douro region (Pinto *et al.* 2010a; Pinto *et al.* 2010b). This region is known to be abundant in *tabique* technology and the study has provided baseline information for

encouraging earth-based methods for future construction (Cardoso and Pinto 2015). It is evident from these examples that more chemistry research needs to be pursued for this material specially for establishing the different regional diversities.

This study described the daub material in the *tabique Pampango* method adorning the inner walls of the mid-19th century church convent at the Municipality of Loboc in Bohol, Philippines. The Catholic mission in Loboc is one of the oldest coordinating centers for the entire province of Bohol, established by the Society of Jesus or the Jesuits in the early 17th century. The church constructed in coral stone traces its origin in the early 18th century, and the convent, where the sample was obtained, is attached at its rear end. Loboc has the only convent structure built in a three-story configuration in the country. It is constructed in the vernacular “*bahay-na-bato*” (house of stone) type of architecture, where the lower level is made of coral stones, and the upper level is made of wood (Javellana 1998; Jose 2001). The convent, together with the church, was severely damaged by an earthquake in 2013 (Aning and Uy 2013). The daub sample was subjected to X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD), and Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy for detailed chemical and mineralogical analysis. Information on the hydraulic nature of the binder and other thermal transformations are established using the thermogravimetric analysis (TGA). Sieve analysis was also employed to know the distribution of particle sizes in the daub. The result of this study contributes to the understanding of the material origin and manufacturing process of daub, especially its local adoption in a humid and tropical environment like the Philippines. This study is also the first scientific report on the chemical analysis of daub in a *tabique Pampango* method in the country. Furthermore, future conservation and restoration work on daub materials will benefit from the baseline chemical data provided by this study.

Methodology

—Sample collection

Figure 1 shows the location of the Municipality of Loboc in Bohol, Philippines, where the *tabique Pampango* sample for this study was obtained. The daub sample was gently detached from a wall partition found inside the 2nd floor of the 19th century Loboc church convent in April 2017 [Figure 2]. Some sections of this wall partition were partially damaged by a strong earthquake in October 2013 which facilitated the dislodging of the daub sample by hand. The daub lime is attached to a wattle made of molave (*Vitex parviflora*) horizontal planks. The sample used in this study measured approximately 3.00 in x 1.80 in x 0.60 in. Since it was originally plastered by hand, the thickness of the sample is non-uniform in some portions [Figure 3]. The exposed outer surface of the sample was discarded to prevent contamination during chemical analysis.

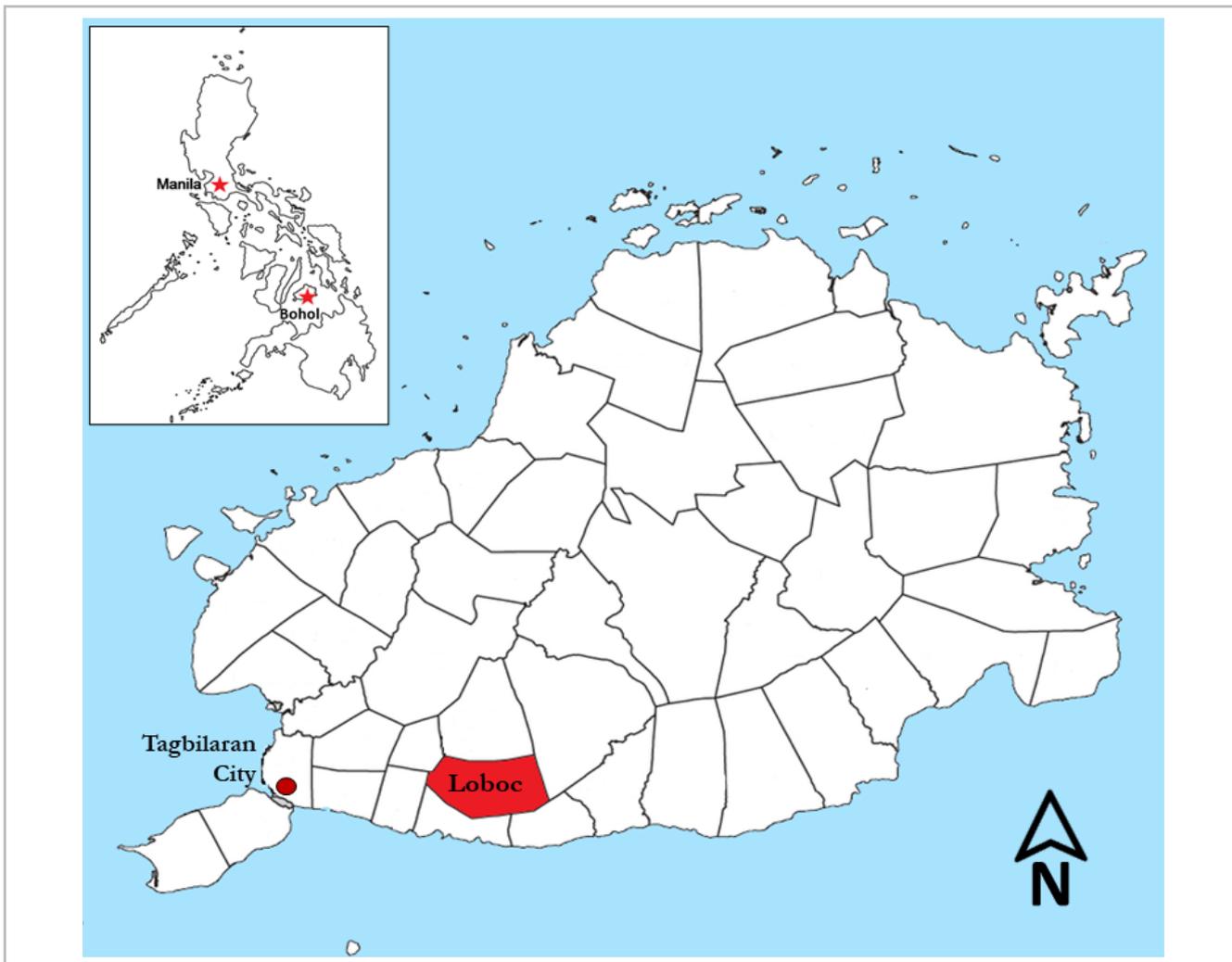


Figure 1.- Location of the Municipality of Loboc in the province of Bohol, Philippines. The capital city of Bohol, which is Tagbilaran City, is also shown in the figure for reference.



Figure 2.- Wall partition using the *tabique Pampango* (wattle-and-daub) technique. (A) and (B) shows the daub collection site with the exposed wattle frame. (C) is the view of the wall partition inside the 19th century Loboc church convent

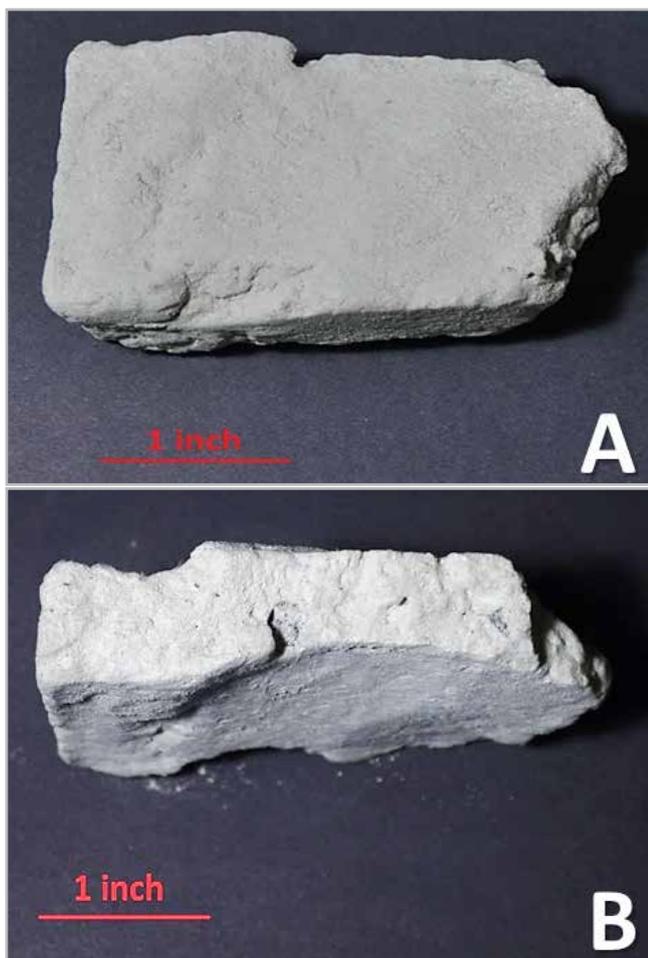


Figure 3. - *Tabique Pampango* mortar sample used in this study. (A) lateral surface view, and (B) view from the side.

Sieve analysis

A portion of the daub sample (15.43g) was gently crushed and carefully disaggregated using a ceramic mortar and wooden pestle to expose the aggregates from the binder fraction. It was done to avoid damaging the attached aggregates such as broken shells, potteries fragments, or coral chunks if present in the sample. The crushed materials were passed through a series of sieves having the following sizes in accordance with the USA Standard Testing Sieve ASTM E11 Specification: 4.75, 2.36, 1.18, 0.600, 0.425, 0.250, 0.150, and 0.075 mm, respectively. For better separation, the whole sieve set-up was placed on a mechanical shaker (US Tyler brand) for 5 min. The fractions that settled in the “pan” were also included in the sieve analysis. It will represent sieve sizes smaller than 0.075 mm, which usually contains the lime binder and clay minerals. Each sieved fractions were weighed carefully to determine the physical distribution of particle sizes in the daub sample.

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analysis

The bulk daub sample was prepared for FTIR analysis using the KBr pellet method, and the spectrum was collected on a Thermo Scientific Nicolet 6700 FT-IR Spectrophotometer. The

KBr (potassium bromide) pellet was prepared by grinding together an approximate ratio of one part daub sample with three parts anhydrous KBr powder and pressed into a thin, translucent film. The pressed pellet was repeatedly scanned in the FTIR 16 times over the mid-infrared region ($4000\text{--}500\text{ cm}^{-1}$) at a resolution of 4 cm^{-1} . The spectrum was reported in percent transmittance relative to wavenumber.

Portable X-Ray Fluorescence (pXRF) analysis

An Olympus Vanta C series handheld X-ray fluorescence analyzer provided elemental composition data of the bulk daub sample. The excitation source is a rhodium (Rh) anode (4-watt, 8-40 kV) with a silicon drift detector. The sampling area was set to 10 mm, and the acquisition followed the Geochem software mode. Total testing time was 45 seconds (Beam 1: 15 sec.; Beam 2: 30 sec.). A raw limestone obtained in Tagbilaran City, capital of Bohol Province, was also sampled using the same parameters for comparison with the daub sample. Results are reported in single element composition, and undetected elements such as carbon and oxygen are classified under the loss on ignition (LOI).

X-ray Diffraction (XRD) analysis

Information on the mineral content in the bulk daub sample was determined in an Olympus TERRA-248 InXitu portable X-ray Diffractometer. The X-ray radiation source used to analyze the sample originated from a Co-K α peak ($\lambda = 1.7903\text{ \AA}$). After homogenization, The XRD data were collected in the 2θ range of 3.00 to 55.00 with 2 seconds measuring time per step. The mineral phases were interpreted using MATCH! Phase Identification from Powder Diffraction software developed by Crystal Impact (Version 3.7.1.132 downloaded February 12, 2019) and verified through the Mineralogy Database created by David Barthelmy at www.webmineral.com.

Thermogravimetric Analyzer (TGA) analysis

Thermal analysis on the bulk daub sample was carried out on a TA Instruments Discovery TGA55. The sample was pulverized and carefully placed in a small platinum pan (Platinum HT) for high-temperature heating. TGA recorded an initial sample weight of 9.973 mg. Temperature was increased from ambient room temperature ($\sim 22^\circ\text{C}$) to $1,000^\circ\text{C}$ at a ramping rate of $10^\circ\text{C}/\text{minute}$ in a nitrogen gas environment. The percentage weight loss was plotted together with the temperature change and the 1st derivative plot was also determined.

Results and Discussion

—Particle distribution

Employing sieve analysis provided information on the particle size distribution of the *tabique Pampango* daub

sample. The sieved data was interpreted based on the soil classification system of the American Society for Testing and Materials (ASTM) (Holtz and Kovacs 1981). The grain size distribution [Figure 4] has the following ranges: coarse sand (4.75 to 2.00 mm), medium sand (2.00 to 0.425 mm), fine sand (0.425 to 0.075 mm) and silt (< 0.075 mm). The weight distribution is highest at the pan (22.75%), showing that the daub sample is mainly classified as silt. Materials retained from 0.075 mm sieve size to lower sizes (i.e., pan) are usually associated with lime or CaCO_3 and minor clay minerals. This observation was followed by the sieve size at 0.250 mm (20.61%) and classified as fine-sized aggregates. The absence of coarse-sized aggregates is also evident from the sieve size at 4.750 mm and the minimal amount retained at 2.360 mm sieve size (0.52%). These results show that the daub sample is non-load bearing or not intended for supporting heavy loads (Cayme *et al.* 2018). Results of the distribution graph provided an idea of the manufacturing process that involves the use of a substantial amount of lime binder and finer-sized aggregates. Crush seashells or broken potteries are also not observed from the particle distributions in contrast to a lime mortar reported from a 19th century church ruin from Manila, Philippines (Cayme and Asor Jr 2016). Hence, preparation methods would differ depending on the available raw material.

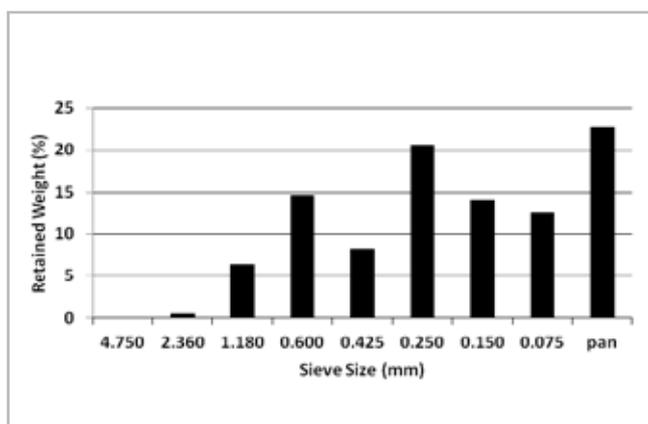


Figure 4.- Percentage weight distribution of the various sieved fractions in the *tabique Pampango* daub mortar sample.

The logarithmic plot [Figure 5] shows the percent finer (% finer) or the cumulative percentage of the daub sample passing through a given mesh size. The grain size diameters (D) passing through the sieve by weight at 10% (D10, 0.0257), 30% (D30, 0.125) and 60% (D60, 0.325), respectively, were extrapolated from the plot. The coefficient of uniformity (Cu, 12.65) and the coefficient of curvature (Cc, 1.87) was computed from these D values. A Cu value greater than four and a Cc value between 1 to 3, which the daub sample is categorized, are considered well-graded (Cayme and Asor Jr 2016). Even though some sieve sizes are not present in the sample, such as the 4.750 mm size, in general, it is still considered to be well represented, and the manufacturer has knowledge on the amount of binder and aggregates to be combined.

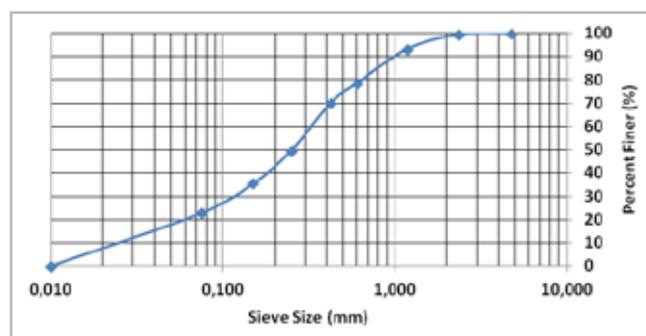


Figure 5.- Grading curve distribution of the *tabique Pampango* daub mortar sample.

Elemental composition

The *tabique Pampango* daub sample is primarily composed of calcium (38.68%), silicon (4.25%), and aluminum (3.38%), respectively [Table 1]. These elements can be traced to the raw materials used for its production, which are the lime binder, mostly CaCO_3 , and sand or soil aggregates, largely silicates (SiO_2) with aluminates (Al_2O_3) (Cayme and Asor Jr 2017). A comparison with the elemental composition of an unfired raw limestone obtained from Bohol shows the same trend in abundance of major elements (i.e. Ca, Si, and Al). This observation indicates that the raw limestone is not entirely made of CaCO_3 but instead argillaceous in nature. However, the amount of silicon and aluminum in the daub sample is significantly higher than the raw limestone, which implies that additional sand or soil are mixed together with the lime binder, as supported by the sieve analysis. The amount of calcium was also found to be different from the raw limestone. These changes are attributed to the differences in processing the starting raw materials, wherein, during the olden times, strict standards in production are not yet in place. The sieve analysis results also yielded a significant amount of fine to coarse-sized aggregates added to the binder, confirming the variations in composition. Furthermore, the amount of iron is almost 50% higher in the daub sample, implying that clayey-type minerals were fired together with the sample during the calcination of lime (Cayme 2021a).

Magnesium is not present in the daub sample, indicating that the carbonates are calcitic in origin. This absence is also consistent with the raw limestone, affirming that the lime may have come from within the Bohol island. The LOI value of about 52.0% is attributed to organic contaminants during the calcination of lime and other hydrated compounds (Kang *et al.* 2019). During the colonial period, one local method of firing lime is to sandwich it in between bamboo slats and burned openly (Reyes 1928). The charred organic substance can mix with the lime causing these impurities.

Binder type is estimated by computing the cementation index (CI) using Equation 1. From the CI value, the binder can be classified as hydraulic (>0.7), moderately hydraulic (0.5 to 0.7), low hydraulic (0.3 to 0.5), and aerial or non-

hydraulic (<0.3), respectively. Hydraulic behavior is the ability of the plaster to harden with the addition of water. This behavior is made possible by mixing pozzolans, where a typical example is clay. A non-hydraulic behavior means that the binder will recarbonate entirely through reaction with air. Based on the computed value, the CI of the daub sample is 0.41 and classified as having low hydraulicity (Gleize *et al.* 2009). Hence, clay may have been involved in the production process.

$$[1] \quad CI = \frac{(2.8) (\% \text{SiO}_2) + (1.1) (\% \text{Al}_2\text{O}_3) + (0.7) (\% \text{Fe}_2\text{O}_3)}{\% \text{CaO} + (1.4) (\% \text{MgO})}$$

Element	<i>tabique Pampango</i> daub sample	Raw limestone
	Percentage Amount (%)	Percentage Amount (%)
Ca	38.69	46.69
Si	4.25	2.88
Al	3.38	3.09
Fe	0.457	0.290
S	0.361	0.014
Sr	0.359	0.021
P	0.221	-
K	0.211	-
Ti	0.047	0.067
Mn	0.011	0.015
Zn	0.011	0.004
Zr	0.007	-
Th	0.003	-
Cu	0.002	0.002
Ni	-	0.002
LOI*	51.99	46.92

* LOI - loss on ignition

Table 1.- Elemental composition of the daub mortar sample compared to a raw limestone using the portable X-ray Fluorescence (XRF).

Mineralogical characterization

The principal mineral phases that usually occur in historic lime mortar samples applicable to the daub samples in this study are recarbonated CaCO_3 or calcite and silicates. Calcite is the main mineral in the lime binder, and the silicates represent the added aggregates (Cayme and Asor Jr 2017). Possible clay minerals found naturally in the raw material or added intentionally during the production process may have been present due to the variable amount of aluminum, silicon, and iron detected in the EDXRF. The carbonate-containing mineral, calcite, composed mainly of CaCO_3 , has the most distinct peaks in the FTIR spectrum, as illustrated in Figure 6. The noticeable vibrations associated with the carbonate ion, CO_3^{2-} , are the intense broad peak

centered at 1429 cm^{-1} assigned to the C-O asymmetric stretching (ν_3), and the two sharp peaks at 712 cm^{-1} and 875 cm^{-1} , attributed to C-O in-plane bending (ν_4) and C-O out-of-plane bending (ν_2) vibrations, respectively. Minor absorption peaks for calcite includes the C-O combination modes at 1797 cm^{-1} ($\nu_1 + \nu_4$) and 2515 cm^{-1} ($2\nu_2 + \nu_4$). Overtones at 2872 cm^{-1} and ν_3 combination bands at 2966 cm^{-1} also add to the identification of calcite. The absorption peak at 712 cm^{-1} clearly shows that the daub sample is mainly calcitic lime rather than dolomitic, which is reported in the literature to have an absorption peak at 727 cm^{-1} (Müller *et al.* 2014; Brunello *et al.* 2019).

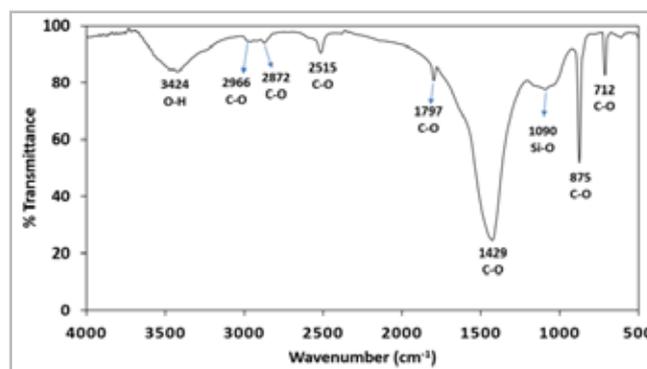


Figure 6.- Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) spectra of the *tabique Pampango* daub mortar sample.

The XRD diffractogram [Figure 7] further supports the identification of calcite through the high-intensity peak at $34.30 (2\theta)$, 3.033 \AA . Other d-spacing values for calcite, readily observed from the diffractogram, includes 3.846 \AA , 2.496 \AA , 2.284 \AA , and 2.095 \AA , respectively. The absence of dolomite phases from the XRD also supports the FTIR and EDXRF data. Hence, the raw material used for the lime binder in the *tabique Pampango* is calcium-rich and originated from recarbonated CaCO_3 . Two possibilities for the origin of the lime can be deduced; it may either have been sourced directly from marine shells or quarried limestone rocks initially formed from marine deposits ages ago. The latter is a typical sedimentary rock type common in the Bohol island (Travero 2016).

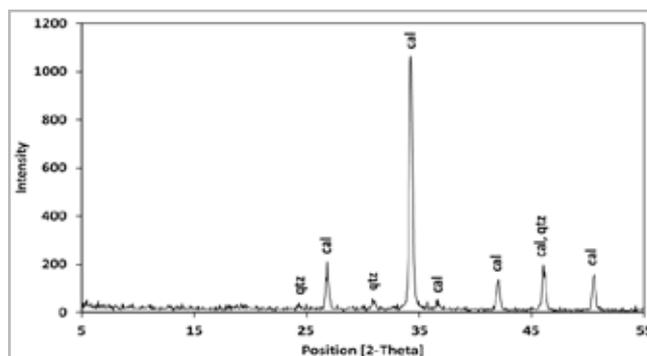


Figure 7.- X-ray powder diffraction (XRD) pattern of the *tabique Pampango* daub mortar sample. Abbreviation: cal – calcite, and qtz – quartz.

For the aggregates, quartz or SiO_2 is the general mineral marker for soil, sand, rocks, or clay because it always contains a significant amount of silicon dioxide or the Si-O bond as part of its backbone. Its presence in the daub sample is displayed through the broad FTIR peak for a Si-O asymmetric stretching vibration centered at 1090 cm^{-1} [Figure 6] (Cayme and Asor Jr 2017). Due to overlapping peaks with the more dominant CaCO_3 and its lower concentration in the sample, this is the only vibration mode for Si-O assigned with confidence in the FTIR spectrum. As a confirmatory method, crystalline patterns for quartz are also identified from the XRD, as shown by the low-intensity peaks having d-spacing values at 4.241 and 3.342 [Figure 7].

The presence of specific clay phyllosilicate minerals was obscured by the broad FTIR peak centered at 3424 cm^{-1} assigned to the O-H peak from absorbed moisture. The region from 3700 to 3600 cm^{-1} are also characteristic FTIR vibrations of clay minerals for inner surface O-H groups; hence overlapping can occur [Figure 6] (Müller *et al.* 2014). XRD was unable to detect crystalline patterns for clay minerals due to its very low concentration relative to both quartz and CaCO_3 . It is not unusual for clay to be part of the soil or sand aggregates added to the daub sample due to Bohol's general clayey type soil composition. Furthermore, FTIR absorption peaks for possible organic additives in the daub were also not detected. Historical documents in the Philippines speculate that albumin from eggs, plant extracts, and molasses is sometimes added to the mortar mixture, but no scientific study has proven this (Jose 2003). Hence, the daub sample in this study was manufactured only from typical lime binder and sand or soil aggregates.

Thermal Analysis

Thermal transformation products resulting from the controlled heating of the *tabique Pampango* daub sample and monitoring the weight change would enable the identification of the binder type used for the sample. Figure 8 shows a continued weight loss from 22°C until it plateaued at around 720°C . Maximum weight loss at about 700°C is typical of recarbonated CaCO_3 and not from pure CaCO_3 (Cayme *et al.* 2021b). Hence, the sample is a processed material. Specific temperature ranges in the thermograph [Table 2] correspond to the processes

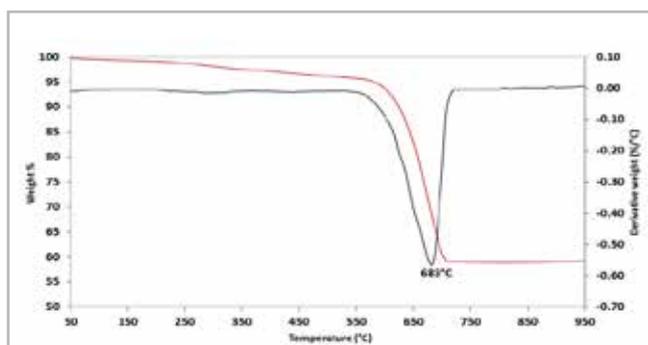


Figure 8.- Thermogravimetric data of the *tabique Pampango* daub mortar sample. The black line corresponds to the 1st derivative plot and the red line is the weight loss.

of dehydration, dehydroxylation, and decomposition (Moropoulou *et al.* 1995a). The dehydration range eliminates the absorbed water (until 120°C) and crystallized hydrated salts from 120°C to 200°C in the sample. The combined weight loss of less than 1.0% in these temperatures is likely from its nature as a wall material directly exposed to the atmosphere, thus, minimizing moisture inclusions.

Dehydrolyated clay minerals that act as pozzolans during the original firing of the binder raw material react with lime (CaCO_3) in the presence of water (hydration) to form hydraulic mineral phases such as calcium-silicate-hydrates and calcium-aluminum-silicate-hydrates. The temperature range between 200°C to 600°C is attributed to the removal of these chemically bound hydraulic water from the sample. The weight loss of 5.38% is typical for hydraulic lime mortars. The decomposition of the CaCO_3 binder by the release of CO_2 occurs at a temperature higher than 600°C (Moropoulou *et al.* 1995b). The maximum weight loss was observed within the approximate range of 600°C to 750°C and centered at 683°C as seen from the 1st derivative plot [Figure 8].

Temperature change ($^\circ\text{C}$)					
T < 120°C	120 - 200°C	200 - 600°C	T > 600°C	Total Weight Loss	$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$
0.62 %	0.28%	5.38 %	34.02 %	40.30 %	6.32

Table 2.- Weight loss in percentage (%) per temperature range of the *tabique Pampango* daub mortar sample.

Furthermore, the early decomposition temperature, starting at about 600°C , also suggests that dehydrolyated clay minerals (e.g., illite) are present during the original firing of the lime raw material. These clay minerals are present in minor amounts ($< 1.0\%$) that the XRD may not have detected but implied from the results of the EDXRF data having typical chemical elements originating from clay. This minor amount of clay is still significant enough to elicit a hydraulic behavior on the daub sample. The level of hydraulicity is confirmed further by obtaining the $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ ratio, which is the weight loss above 600°C (i.e., CO_2), and the hydraulic water within the 200°C to 600°C range. The ratio of 6.32 is within the characteristic range (between 4.0 to 9.0) of hydraulic lime mortars. This behavior is possibly due to clayey soils mixed with the lime binder during its production (Moropoulou *et al.* 2005).

Conclusions

This study provides a foundation for future chemical analysis of a 19th century *tabique Pampango* in the Philippines. It will further motivate the scientific discussions of wattle-and-daub methods in the Southeast Asian region and highlight the influence of Spanish building methods on its former overseas territories. The daub sample from the Loboc convent yielded significant amounts of calcite and quartz, which is expected for a mortar made of lime binder and sand aggregates. Clay minerals added to the binder have made the daub hydraulic, which hastens the hardening of the material instead of entirely carbonating on

exposure to atmospheric carbon dioxide. This interpretation represents an advanced way of conducting the wattle-and-daub method due to the added pozzolan materials in the binder. The results also suggest no difference between the lime mortar used for load-bearing structures compared to the daub material, except for the sizes of aggregates. It shows that the binders are prepared the same and will only differ on the type of aggregates depending on the structure's purpose. The daub sampling sites should be increased in future studies to determine the variations across different provinces in the country and, broadly, to other former territories of the Spanish Empire.

Acknowledgements

The author is indebted to the Parish of Loboc where the tabique Pampango daub sample was acquired. The sample was obtained through the church visits under the 10th National Convention of Church Cultural Heritage Practitioners held in April 2017 at Tagbilaran City, Bohol, Philippines. This event was hosted by the Catholic Bishop's Conference of the Philippines (CBCP) Episcopal Commission for the Cultural Heritage of the Church and the Diocese of Tagbilaran. The technical expertise of Ms. Lavinia Angeles of Cytek Solutions, Inc. and the company's XRF and XRD equipment use is highly appreciated. The author also recognizes the generous support extended by the Chemistry Department of the De La Salle University, Manila, Dr. Jaime Raul Janairo, Mr. Michael Ajero, Mr. Irving Chiong, Dr. Maria Carmen Tan, and Mr. Aniano Asor, Jr.

References

- AMICONE, S., CROCE, E., CATELLANO, L., VEZZOLI, G. (2020). "Building Forcello: Etruscan wattle-and-daub technique in the Po Plain (Bagnolo San Vito, Mantua, Northern Italy)", *Archaeometry*, 62(3):521-537. <https://doi.org/10.1111/arcm.12535>.
- ANING, J., UY, J.R. (2013). "Destruction of heritage churches lamented". Philippine Daily Inquirer <https://newsinfo.inquirer.net/507871/destruction-of-heritage-churches-lamented>. [accessed: 3/30/2021].
- BOYD, W.E., PARR, J.F. (2007). "XXIV. Geochemical analysis of fragments of burnt and impressed clay (daub) from the archaeological layers at Noen U-Loke, and the determination of its probable origin". In: *The origins of the civilizations of Angkor: The excavation of Noen U-Loke and Non Muang Kao* (Vol. II), Higham, C.F.W., Kijngam, A., Talbot, S. (eds.). Bangkok: The Thai Fine Arts Department, 465-474.
- BRUNELLO, V., CORTI, C., SANSONETTI, A., TEDESCHI, C., RAMPAZZI, L. (2019). "Non-invasive FTIR study of mortar model samples: Comparison among innovative and traditional techniques", *The European Physical Journal Plus*, 134:270. <https://doi.org/10.1140/epjp/i2019-12667-1>.
- CARDOSO, R., PINTO, J. (2015). "Tabique walls composite earth based material characterization in the Alto Douro wine region, Portugal", *Construcții Journal*, 15(2):3-11.
- CAYME, J.M., ASOR JR., A. (2016). "Characterization of historical lime mortar from the Spanish colonial period in the Philippines", *Conservation Science in Cultural Heritage*, 16:33-44. <https://doi.org/10.6092/issn.1973-9494/7164>
- CAYME, J.M., ASOR JR., A. (2017). "Calcium content of lime mortars from 19th century church ruins in the Philippines using volumetric analysis", *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 21(5):1080-1090. <https://doi.org/10.17576/mjas-2017-2105-10>.
- CAYME, J.M., AURELLANO, R.M., CABRAL, C.L., ALONZO, G.A., ASOR JR., A. (2018). "Assessing the composition of 19th century lime mortars from a mission chapel in the former Hacienda de San Isidro de Mariquina Philippines", *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* (Journal of Scientific and Applied Chemistry), 21(3):131-138. <https://doi.org/10.14710/jksa.21.3.131-138>.
- CAYME, J.M. (2021a). "Analytical chemistry methods of estimating the original firing temperature of bricks from a 19th century convent in the Philippines: Perspective of a Southeast Asian country", *SPAF Journal*, 5. <https://doi.org/10.26721/spafajournal.2021.5.651>.
- CAYME, J.M., BERMEJO III, A., FRANCIA, C.A.E., ASOR JR., A., MIRANDA, E. (2021b). "Spanish Colonial Period bricks from churches in Laguna, Philippines: A preliminary chemical characterisation using X-ray diffraction, energy dispersive X-ray fluorescence and Fourier transform infrared", *Journal of Physical Science*, 32(2):105-124. <https://doi.org/10.21315/jps2021.32.2.8>.
- CECCARELLI, L., MOLETTI, C., BELLOTTO, M., DOTELLI, G., STODDART, S. (2020). "Compositional characterization of Etruscan earthen architecture and ceramic production", *Archaeometry*, 62(6):1130-1144. <https://doi.org/10.1111/arcm.12582>.
- CHETWIN, J.N. (2007). "XXIII. The remains of wattle and daub structures". In: *The origins of the civilizations of Angkor: The excavation of Noen U-Loke and Non Muang Kao* (Vol. II), Higham, C.F.W., Kijngam, A., Talbot, S. (eds.). Bangkok: The Thai Fine Arts Department, 447-464.
- DUWE, S. (2005). "Pots, daub, and neutrons: A pilot compositional analysis of Hungarian Early Copper Age clay assemblages", *La Tinaja: A Newsletter of Archaeological Ceramics*, 16(1-2): 2-5.
- GRAHAM, T. (2003). "Wattle and daub: Craft, conservation and Wiltshire case study". Master of Science in the Conservation of Historical Buildings at the University of Bath. Dept of Architecture and Civil Engineering. <https://doi.org/10.13140/2.1.1875.2806>. [accessed: 3/30/2021].
- GLEIZE, P.J.P., MOTTA, E.V., SILVA, D.A., ROMAN, H.R. (2009). "Characterization of Historical Mortars from Santa Catarina (Brazil)", *Cement and Concrete Composites*, 31(5): 342-346. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.02.013>.
- HOLTZ, R., KOVACS, W. (1981). *An Introduction to Geotechnical Engineering*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- JAVELLANA, R. (1988). "Angels and Gargoyles of Loboc Church", *Philippine Studies*, 36(1): 88-97.
- JOSE, R.T. (1991). *Simbahan: Church Art in Colonial Philippines 1565-1898*. Makati: Ayala Museum.
- JOSE, R.T. (2001). *Visita Iglesia Bohol: A Guide to Historic Churches*. Manila: National Commission for Culture and the Arts (NCCA).

JOSE, R.T. (2003). "Palitada: Skin of the church". In: *Skin Surface Essence*. Manila: Ateneo Art Gallery, Ayala Foundation, Inc., Eugenio Lopez Foundation, Inc., and Museum Pambata Foundation, Inc., 13-29.

KANG, S-H., LEE, S-O., HONG, S-G., KWON, Y-H., (2019). "Historical and scientific investigations into the use of hydraulic lime in Korea and preventive conservation of historic masonry structures", *Sustainability*, 11: 5169. <https://doi.org/10.3390/su11195169>.

MOROPOULOU, A., BAKOLAS, A., MICHAILIDIS, P., CHRONOPOULOS, M., SPANOS, CH. (1995a). "Traditional technologies in Crete providing mortars with effective mechanical properties". In: *Structural Studies, Repairs and Maintenance of Historical Building*. WIT Transactions on The Built Environment, Brebbia, C.A. (ed.). WIT Press, 15:151-161. <https://doi.org/10.2495/STR950171>.

MOROPOULOU, A., BAKOLAS, A., BISBIKOU, K. (1995b). "Characterization of ancient, byzantine and later historic mortars by thermal and X-ray diffraction techniques", *Thermochimica Acta*, 269/270: 779-795. [https://doi.org/10.1016/0040-6031\(95\)02571-5](https://doi.org/10.1016/0040-6031(95)02571-5).

MOROPOULOU, A., BAKOLAS, A., ANAGNOSTOPOULOU, S. (2005). "Composite materials in ancient structures", *Cement & Concrete Composites*, 27: 295-300. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.018>

MÜLLER, C.M., PEJIC, B., ESTEBAN, L., PIANE, C.D., RAVEN, M., MIZAIKOFF, B. (2014). "Infrared attenuated total reflectance spectroscopy: An innovative strategy for analyzing mineral components in energy relevant systems", *Scientific Reports*, 4:6764. <https://doi.org/10.1038/srep06764>.

PARR, J.F., BOYD, W.E. (2002). "The probable industrial origin of archaeological daub at an Iron Age site in Northern Thailand", *Geoarchaeology: An International Journal*, 17(3): 285-303. <https://doi.org/10.1002/gea.10013>.

PINTO, J., VARUM, H., CRUZ, D., SOUSA, D., MORAIS, P., TAVERES, P., LOUSADA, J., SILVA, P., VIEIRA, J. (2010a). "Characterization of traditional tabique constructions in Douro North Valley region", *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 2(6): 93-102.

PINTO, J., VARUM, H., CEPEDA, A., TAVERES, P., LOUSADA, J., SILVA, P., VIEIRA, J. (2010b). "Study of the traditional tabique constructions in Alto Tãmega region". In: *The Sustainable World*. WIT Transactions on Ecology and the Environment, Brebbia, C.A. (ed.). WIT Press, 142:299-307. <https://doi.org/10.2495/SW100281>.

REYES, F.D. (1928). "The lime industry of the Philippine Islands". *The Philippine Journal of Science*, 36(2): 139-155.

SEMBRANO, E.A.M. (2016). "Siquijor's healing sights: Churches made of ancient 'tabique pampang'", *Philippine Daily Inquirer*. <https://lifestyle.inquirer.net/243860/siquijors-healing-sights-churches-made-of-ancient-tabique-pampang/>. [accessed: 3/30/2021].

SHERGUR, J., POPELKA, R.S., ROBERTSON, J.D., POLLACK, D. (2003). "Distinct chemical patterns in late Mississippian Caborn-Welborn ceramics of the lower Ohio river valley", *North American Archaeologist*, 24(3): 221-243. <https://doi.org/10.2190/PT2Q-AV4X-UAWX-EJ1A>.

SINGH, U. (2008). *A history of ancient and early medieval India: From the stone age to the 12th century*. India: Dorling Kindersley Pvt. Ltd.

SULAS, F., KRISTIANSEN, S., WYNNE-JONES, S. (2019). "Soil geochemistry, phytoliths and artefacts from an early Swahili daub house, Unguja Ukuu, Zanzibar", *Journal of Archaeological Science*, 103: 32-45. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.01.010>.

TAUBALD, H., BIRÓ, K.T. (2007). "Archaeometrical analysis of Neolithic pottery and comparison to potential sources of raw materials in the immediate environment of the settlements – A first summary of the MÖB-DAAD exchange program", *Archeometriai Műhely*, 2.

TRAVERO, J.T. (2016). "Soil types and geographical forms of the degraded uplands of Bohol, Philippines", *International Journal of Environmental and Rural Development*, 7(2): 1-5. <https://doi.org/10.32115/ijerd.7.2.1>.

WYŻGÓŁ, M., DEPTUŁA, A. (2020). "Living outside the wall: The quarter of wattle-and-daub houses in old Dongola of the Funj Period", *Journal of African Archaeology*, 18: 109-132. <https://doi.org/10.1163/21915784-20200005>.

Autor/es



Jan-Michael C. Cayme

jm.cayme@gmail.com

Chemistry Department De La Salle
University, Manila Philippines

Jan Michael C. Cayme is an assistant professorial lecturer at the Chemistry Department of the De La Salle University, Manila, a licensed chemist in the Philippines, holder of a Masters' Degree in Chemistry and completing a Ph.D. in Chemistry at the University of the Philippines, Diliman. He has several peer-reviewed publications in local and international scientific journals on the chemical analysis of colonial period-built materials in the Philippines. As a faculty member of the Chemistry Department at the De La Salle University, Manila, and The Graduate School of the University of Santo Tomas, he initiated the teaching of advanced analytical chemistry techniques with a focus on cultural heritage for chemistry majors and a general scientific approach to chemistry and cultural heritage for non-science majors. He is also a former field cultural researcher of the Institute of Philippine Culture at the Ateneo de Manila University, documenting the architectural styles and history of pre-World War 2 structures in Metro Manila.

Artículo enviado 05/08/2021

Artículo aceptado el 06/11/2021



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1034>



Estudio crítico sobre la actual destrucción política del monumento urbano

Fernando R. Contreras

Resumen: Este estudio se ha centrado en el conflicto actual de la ciudadanía con los monumentos públicos como muestran varios sucesos de ataques vandálicos aparecidos en los medios de comunicación. Desde la hipótesis de una representación artístico-histórica fallida al eludir la realidad del contexto político y las reacciones emocionales de determinados movimientos sociales, presentamos un estudio crítico articulado entre los estudios visuales, la política y la filosofía del arte. Entre las conclusiones más relevantes, destacamos la crisis del valor simbólico de las narrativas que representan estas imágenes del pasado, las violentas reacciones de movimientos sociales que denuncian la ocupación del espacio público cuando la mirada de espectador sobre el objeto genera opinión pública y la oposición popular en el vandalismo frente a la inexistencia de un programa iconoclasta institucional que revise la resignificación de los monumentos en los tiempos presentes.

Palabras clave: monumentos, ciudad, política, iconoclasia, vandalismo, movimientos sociales

Critical study on the current political destruction of the urban monument

Abstract: This study has focused on the current conflict of citizens with public monuments as shown by several events of vandalism attacks reported in the media. Based on the hypothesis of a failed artistic-historical representation that eludes the reality of the political context and the emotional reactions of certain social movements, we present a critical study articulated between visual studies, politics, and the philosophy of art. Among the most relevant conclusions, we highlight the crisis of the symbolic value of the narratives that represent these images of the past, the violent reactions of social movements that denounce the occupation of public space when the spectator's gaze on the object generates public opinion and the popular opposition in vandalism in the face of the non-existence of an institutional iconoclastic programme that revises the resignification of monuments in the present times.

Keywords: monuments, city, politics, iconoclasm, vandalism, social movements

Estudo crítico sobre a atual destruição política do monumento urbano

Resumo: Este estudo concentrou-se no conflito atual da cidadania com os monumentos públicos como mostram vários eventos de ataques de vandalismo nos meios de comunicação. Desde a hipótese de uma representação artístico-histórica fracassada ao eludir a realidade do contexto político e as reações emocionais de determinados movimentos sociais, apresentamos um estudo crítico articulado entre os estudos visuais, política e filosofia da arte. Entre as conclusões mais relevantes, destacamos a crise do valor simbólico das narrativas que representam estas imagens do passado, as violentas reações de movimentos sociais que denunciam a ocupação do espaço público quando o olhar de espectador sobre o objeto gera opinião pública e a oposição popular no vandalismo frente à inexistência de um programa iconoclasta institucional que reveja a resignificação dos monumentos nos tempos presentes.

Palavras-chave: monumentos, cidade, política, iconoclasia, vandalismo, movimentos sociais

Introducción: ver ya no es creer

Al recorrer los escritos metodológicos sobre el monumento moderno encontramos al historiador Riegl (2008 [1903]: 23) que ofrece una definición y una refutación, sin que luego haya habido gran cosa que agregar: “una obra realizada por la mano humana y creada con el fin específico de mantener hazañas o destinos individuales (o conjunto de éstos) siempre vivos y presentes en la conciencia de las generaciones venideras”. El estudio de Riegl muestra lo remoto de la genealogía de los monumentos, cuyas intenciones en la actualidad se cuestionan por el cambio de actitud y comportamiento de la ciudadanía frente a ellos.

El monumento reclama un valor artístico y un valor histórico de las actividades humanas y de los albores de la humanidad. El monumento rememora períodos destacados y se expresa por medio de distintas formas artísticas: desde la escritura (la lectura comunica las ideas contenidas en la conciencia) a las artes plásticas (las obras percibidas por la vista y el tacto). El arte que encontramos en el monumento será en primera instancia, como dice Riegl, un valor histórico-artístico. Es normal encontrar numerosos monumentos que repiten su contenido con detalles artísticos diferentes. Es el caso de los monumentos erigidos a la figura histórica de Cristóbal Colón (Hernández-Mora 2021) en los que también es evidente otro valor de carácter conmemorativo: la conmemoración del descubrimiento del continente americano. Este valor conmemorativo puede ser intencionado, es decir, provocado por la mano del artista, pero también lo puede esgrimir una obra que solo manifieste huellas del pasado (Manetto y Marcial Pérez 2021).

Continuando con el estudio de Riegl, que nos permite plantear el estado de la cuestión, los monumentos ofrecen también un sustrato anímico que no solo afecta al individuo en cuanto ser efímero en el mundo, sino que también satisface los sentimientos de las masas (sentimientos religiosos o ideológicos). Los monumentos aportan esa dimensión espiritual a través de la semiótica visual ligada a su interpretación. Unas ruinas recuerdan la grandeza del pasado de una civilización y la degradación que ésta sufre en el presente. Las huellas visuales del pasado también estremecen cuando testimonian períodos de esclavitud, de invasiones, de violentas conquistas imperiales, y, en pocas palabras, de inhumanidades.

Los monumentos poseen dos valores en tensión como son la antigüedad, que posee la ambición universal de dirigirse a todos (un público cultivado o las masas) desde la conservación de un pasado común, y un valor instrumental, cuando su función se adecua a la circulación y manipulación humana, es decir, cuando volvemos a reactivar el monumento con una función diferente, de acuerdo con la evolución del pensamiento y el comportamiento humano de nuevos tiempos.

Recientes noticias publicadas por los medios de comunicación informan sobre ataques vandálicos a

los monumentos en distintos lugares del mundo, o sobre decisiones oficiales por parte de instituciones gubernamentales de su retirada de espacios públicos. Este malestar ciudadano con el patrimonio urbano ha sido la causa de recientes manifestaciones por todo el mundo. Por citar algunas evidencias que aparecen publicadas en los medios (Agencias 2020): 1) Estatua de Cristóbal Colón, Boston, 9 de junio 2020. La imagen es decapitada. Navegante genovés (1451-1506); 2) Estatua de Jefferson Davis, Richmond, Virginia, 10 de junio 2020. La imagen es derribada. Héroe confederado (1808-1889) que defendía el sistema esclavista. Estas evidencias muestran el monumento como una realidad poliédrica en la que la política y la visualidad se solapan en un palimpsesto de nueva textualidad social.

Este trabajo establece el supuesto (la hipótesis) que la destrucción actual del monumento deriva de su integración en un particular régimen escópico que fusiona lo representativo, lo político y lo estético. En esta fusión, las imágenes dan testimonio de un mundo autónomo de sus cualidades visuales y de su poder para construir la comunidad. Por este motivo, las obras monumentales son cuestionadas por su verdad y por su efecto en la ética de los individuos y de la comunidad. Los monumentos son obras que ofrecen una forma política a la realidad mediante la materia, y, en la actualidad, bajo el consenso y la acción disidente, entran en un ciclo de muertes y renacimientos. La formación estética de un mundo colectivo supone para el monumento un ciclo de designificación y resignificación con los valores políticos vigentes que al final termina en la composición de la nueva trama de nuestra historia cultural.

Los motivos de la destrucción visual: la guerra política de las imágenes

Su emplazamiento privilegiado crea una esfera pública al administrarles una dirección o un destino. Los monumentos no representan de modo directo el poder, no les es necesario. La iconofilia a estas imágenes exige a priori la existencia de un ritual público en el que se muestra la lealtad de los correligionarios. Para que los monumentos sean el objetivo de ataques, las imágenes tenían primero que estar allí, para que después, atrajesen hacia sí las formas de adoración. La moralidad obligada de un régimen requería una dirección y una imagen destinada a ello. Antes de que una imagen fuese objetivo de iconoclastas, era un objeto de veneración de idólatras. Es decir, “la iconoclastia era el culto a las imágenes de signo invertido” (Belting 2012: 93). La consagración de las imágenes también sobrevivirá en las sociedades secularizadas; es el residuo ideológico que permanece en una comunidad que practicaba religión o creencia.

De la crisis de los monumentos es, en parte, responsable la crisis del poder, de la figura representante y de su autoridad (que ya no protege su imagen). Coincidiendo con la totalidad de la posmodernidad, la obra

monumental participa de la crisis de sentido que ha causado la inestabilidad de las Instituciones, Academias y de los grandes metarrelatos de la modernidad (Connor, 2002). Una crisis de sentido que ocasiona la inflación de discursos aceptados y su continua renovación nihilista y deconstructiva. La Iglesia, la Democracia, el Estado, el Arte, los responsables de los principios directivos o de las mitologías universales que controlaban o delimitaban las formas discursivas en el mundo caen bajo sospecha. La multiplicación de los centros de poder que controlan la actividad de la representación social, la decadencia de la autoridad cultural de Occidente y sus tradiciones políticas e intelectuales junto con la apertura de la escena política mundial a las diferencias étnicas y culturales generan, en la opinión de algunos, el paso de la jerarquía a la anarquía (Connor 2002: 23).

Esta atmósfera resulta mucho más fenomenológica que iconológica en el sentido, al menos, habitual del historiador Erwin Panofsky (2004 [1962]). El influjo de estas imágenes no repercute sobre el contenido de la interpretación, sino sobre una invocación a la interpretación. El monumento no sugiere que hay algo más que la representación y la reificación del mundo sensible (espacios públicos construidos, figuras humanas o verosimilitudes narrativas). Tras la figuración monumental se oculta un rasgo inesperado, algo no sometido a su referencialidad, una trama subjetiva generada por la mente colectiva y política de la comunidad.

La reacción popular contra los monumentos se organizó en el pasado alrededor de religiones que atravesaban desde Bizancio a Damasco. En la actualidad, esta situación no ha cambiado tanto. Las religiones pueden ser la doctrina alrededor de la cual se organiza los actos iconoclastas, pues salvo los casos particulares de individuos perturbados, detrás del rito de la destrucción de imágenes siempre aparece una doctrina que mezcla teología con política (Watney 2015).

Los asaltos a monumentos no tienen las mismas implicaciones teóricas y estéticas que los acaecidos por una moralidad del pasado. La recurrencia a la censura de las imágenes efervescentes consideradas de mal gusto por su realismo sexual, el pudor, o en última instancia, la veracidad reflejada en la desnudez de las formas, ya no es el único motivo de una iconoclasia institucional. No obstante, Freedberg (2009) confirma la importancia de las respuestas emocionales y viscerales a las imágenes y al arte a lo largo del devenir histórico. Sin duda, la iconoclasia acaba marcando en el tiempo episodios históricos, como la eliminación iconográfica realizada por las concentraciones populares de los "Leninoclastas" de 1989 en Moscú y en todo el territorio del bloque oriental (Scotini 2009: 2). Los cambios de regímenes políticos han ido acompañados de la desfiguración, desplazamiento o destrucción de las obras exhibidas frente la mirada de los subversivos. Es una de las conclusiones a las que llegaba el estudio de Gamboni (1997) sobre la iconoclasia desde

la Revolución Francesa. También los actos iconoclastas contemporáneos surgen de un entorno revolucionario instigado por el activismo político de los años sesenta. Un ejemplo de ese espíritu reivindicativo lo encontramos en las protestas del movimiento *Black Lives Matter* contra la discriminación racial que inspiró a nivel global una serie de ataques contra monumentos que constituían símbolos de opresión (Redacción y agencias 2020).

Las imágenes por sí mismas son dialécticas por la tensión que contienen entre lo psíquico y lo objetivo, la violencia dionisiaca y la belleza apolínea. Noguera Gracia revela esta implicación en el malestar con el monumento: "Tras los actos de iconoclasia hay un contenido simbólico, una intención política y una narrativa que respalda y justifica la acción" (Noguera Gracia 2018: 10). Para Stollbrock Trujillo (2017), la iconoclasia es consecuencia del realismo en la representación del mundo, entendiendo el realismo como un discurso sobre la verdad. De modo que lo representado impide la memoria de lo no representado, además de evitar la narración del pasado. Esta paradoja "inmemorial" que se basa en la prohibición de imágenes (*Bildverbot*) motivó que el cristianismo primitivo prohibiera en sus comienzos las imágenes, pues una imagen de Dios en un lugar sagrado expresaba en concreto su ausencia: la representación material testimoniaba solo las particularidades de su referente indicial. Más tarde, fue la doctrina de la encarnación la que justificó en el cristianismo la utilización de las imágenes. Después de todo, Dios se había reencarnado en la figura material de Cristo, por lo que la realización de una figura tallada podría interpretarse como hacer una cosa viva. Para Freedberg (2017) esta justificación cierra la reciprocidad entre figuración e idolatría.

Los movimientos sociales se centran con cierta preferencia en las dimensiones políticas de la visibilidad pública de los monumentos que impactan sobre la opinión pública. Algunos ejemplos son: 1) el movimiento feminista *#NoMeCuidanMeViolan* en México durante su manifestación del 12 de agosto del 2019 cubrió la Columna del Ángel de la Independencia con frases como "México feminicida" y "No se va a caer, lo vamos a tirar" (Pérez-Ramos y Ramiro-Esteban 2020); 2) la marcha del 18 de octubre de 2019 en la Plaza Italia, localizada en Santiago de Chile, acabó en actos vandálicos y la sede de la Universidad Pedro de Valdivia, un edificio patrimonial fechado en c. 1915, fue incendiada; 3) el movimiento *#Black Lives Matter* provocó la demolición de estatuas en Estados Unidos, Reino Unido y tuvo resonancia en otros lugares del mundo; 4) el movimiento Rhodes Must Fall nació el 9 de marzo de 2015 contra la estatua de Cecil Rhodes en la Universidad de Ciudad de Cabo y se extendió por Sudáfrica, Estados Unidos y Reino Unido.

El texto sobre política de la iconoclasia de Noyes demuestra que en 1530 la denuncia de Calvino de las imágenes de la Iglesia cristiana fue una estrategia política para el desarrollo de la sociedad civil de Ginebra: "En la

actualidad, por toda la ciudad hay placas que celebran la forma en que trabajaron en paralelo la destrucción de imágenes y la democracia racionalista” (Noyes 2018: 102). El estudio de Strother (2002) muestra el funcionamiento de la iconoclasia en los procesos de colonización y descolonización (Hernandez 2019), en los que los actos de mutilación, difamación, retirada o destrucción de las imágenes adquirió una dimensión positiva en la política.

La iconoclasia es en la modernidad una estrategia política que utiliza el nuevo poder institucional para controlar el régimen escópico de una comunidad. Después del golpe de estado en Argentina que derroca al presidente Perón en 1955, se llevó adelante un proceso de destrucción de imágenes, símbolos e insignias relativos al movimiento que será instituido al poco tiempo con “el decreto ley 4161 de marzo de 1956 que prohibía expresamente en su artículo 1 “la utilización de imágenes, símbolos, signos, expresiones significativas, doctrinas, artículos y obras artísticas, (...) que sean (...) representativas del peronismo” (Soneira 2020: 12). También hubo una resignificación visual de símbolos y retirada de monumentos durante la Revolución Bolivariana o “Revolución Bonita” (1999) en la República Bolivariana de Venezuela (Contreras y Ramírez 2021). El comandante supremo, Hugo Rafael Chávez Frías, decretó el 12 de octubre como “Día de la Resistencia Indígena” (Nº 2028) en sustitución del “Día de la Raza”. Dos años después grupos vandálicos derribaron la estatua de Colón en la céntrica Plaza Venezuela de la capital y luego tras un juicio simbólico, la colgaron (García Marco 2016). Los ejemplos se repiten en períodos históricos concretos en los que hay un cambio de régimen político.

El principal precedente de estos hechos, sin duda, es la iconoclasia bizantina (Mondzain 1996). La teología y la política se entrecruzaban para respaldar el poder imperial. Los debates cristocéntricos, si bien giraban alrededor de la imposibilidad del arte de representar la naturaleza de Cristo, pronto tornaron en debates políticos. Freedberg (2017) descubre que los argumentos teológicos sobre las imágenes fueron considerados modelos para los razonamientos habituales, incluyendo los políticos y psicológicos. Los modelos funcionaban, según nuestro autor, debido a la relevancia del sentido de la encarnación. Así era que la imagen del emperador romano debía tratarse como si fuese el propio emperador: “En las antiguas concepciones romanas, emperadores y reyes estaban donde estaban sus imágenes” (Freedberg 2017: 41). El homenaje a la persona podía brindarse a través del homenaje a su imagen, y viceversa, se podía agredir a la figura poderosa atacando a su imagen. En la actualidad, la frustración popular contra los poderes opresores (tiranos, ideologías o cosmovisiones hegemónicas) se manifiesta en la protesta pública que carga con ferocidad sobre sus representaciones más fáciles de derrocar que al propio sujeto de la represión. En estas disputas iconoclastas, la obra monumental no solo juega con factores políticos, sino que éstos se ven entrecruzados por razones históricas (colonización/descolonización), teológicas (choque entre

culturas y creencias diferentes) y psicológicas (rechazo de identidades).

Iconoclasia versus vandalismo: otra mirada crítica sobre el culto del monumento

En la actualidad, la iconoclasia perdura con forma de vandalismo, salvo excepciones institucionales, cuya doctrina ideológica otorga oficialidad a un plan de eliminación o retirada de imágenes. La propuesta de resolución común sobre la importancia de la memoria histórica europea para el futuro de Europa (2019/2819(RSP), aconsejaba a las naciones europeas la eliminación de las imágenes fascistas o comunistas. En España, la “Ley de Memoria Histórica 52/2007, de 26 de diciembre por la que se reconocen y amplían derechos y se establecen medidas en favor de quienes padecieron persecución o violencia durante la Guerra Civil y la Dictadura” obliga a instituciones y entidades privadas a la eliminación o retirada de los espacios públicos de imágenes, monumentos, insignias, símbolos o placas de calles del régimen dictatorial franquista. Otras leyes en otros países siguen la misma dirección. En Estados Unidos (Gaddie y Evans 2021), hubo una remoción de monumentos confederados desde los años sesenta que se vio impulsado por incidentes raciales como el tiroteo en la iglesia de Charleston (Faus, 2015), la manifestación *Unite the Right* con la retirada de la estatua de Robert Edward Lee en Charlottesville (Faus y De Llano 2017) y el asesinato del ciudadano negro George Floyd en un acto de violencia policial (Ros 2020).

El concepto de monumento contemporáneo surge a partir de los años sesenta, y encuentra una buena fundamentación en el manifiesto publicado en 1943 por Sigfried Giedion, Josep Lluís Sert y Fernand Léger titulado “Nueve puntos sobre monumentalidad” (Sert, Léger y Giedion 2015) que produce el cambio drástico del reemplazo de la obra conmemorativa, ideológica, política y simbólica por la obra artística de vanguardia (p.e. “El peine del viento”, en la ciudad española de San Sebastián, de Eduardo Chillida 1977). Así, el ritual vandálico ha quedado limitado a un acto de purificación de los lugares públicos donde el monumento es un anacronismo visual que todavía concede a la imagen la esencia que contuvieron en el pasado (Bellentani y Panico 2016). Una esencia, que como afirmábamos antes, en la actualidad solo la posee la obra de arte: “Los monumentos son expresión de las más altas necesidades culturales del hombre. Están destinados a satisfacer el ansia eterna del pueblo por traducir en símbolos su fuerza colectiva. Los monumentos vivientes son los que dan expresión a esa fuerza colectiva” (Sert, Léger y Giedion 2015: 7). Frente al malestar político, conflictos e inquietudes sociales que supone el culto a la visualidad del monumento, la contemplación pública ha sido reducida a la obra de arte. En consecuencia, en esos espacios abiertos a todas las miradas, museos y plazas públicas, el monumento ha sido reemplazado en muchas ocasiones por las “obras plásticas”.

El monumento produce su propia política, reconfigura el espacio urbano como un asunto político. En consecuencia, adquiere la autonomía de la experiencia y participa, como forma de vida, en un plan de autoformación. El monumento, en calidad de obra de arte, supone la formación del ciudadano en un régimen estético concreto. Es en ese proceso de educación estética cuando el monumento llega a un acuerdo con el régimen ético. Tal es el punto de vista que interroga el Memorial "Ground Zero" en recuerdo de las víctimas del atentado terrorista 11-S, del 2001 en la ciudad de New York.

El redescubrimiento de la "comunidad", la constitución actual de un tercer sector no estatal, ni lucrativo (mercado) que activa redes ciudadanas y movimientos sociales ha invertido el sentido de la iconoclasia. El nexo asociativo entre estos movimientos ciudadanos y la iconoclasia es el rechazo a la glorificación de ciertos personajes o ideologías que arrastran problemas de "empatía" con la comunidad. Es una cuestión de dolor psíquico. En esta dirección, Lai (2020) publica una defensa del vandalismo cuando el ataque se dirige a "símbolos políticos contaminados" que permanecen por la pasividad de las actuaciones oficiales. Para Lai, la desfiguración, destrucción o remoción no autorizada de símbolos políticos puede ser un acto moral permisible o incluso obligatoria en ausencia de un programa iconoclasta institucional. Lim (2020) también coincide en la función política del vandalismo resignificando el monumento de homenaje público en un acto de repudio o de humillación pública. Reconoce el potencial transformador del vandalismo y su acción organizada por los activistas progresistas en los últimos años. También es interesante la perspectiva de Miranda (2020) que pretende encontrar en la iconoclasia las huellas críticas de la mirada nietzscheana sobre los monumentos. Para Miranda, la iconoclasia es una alternativa particular de juzgar y rechazar la veneración y adoración de personajes históricos, y que finaliza en la descolonización del espacio público. Así también lo sugieren Pérez-Ramos y Ramiro-Esteban (2020: 46-47) cuando afirman que "el patrimonio cultural es un recurso de cohesión social, que puede ser aprovechado en algunas sociedades como herramienta política, de reivindicación social y como elemento de lucha, y que es utilizado para construir y resignificar identidades". Además reconocen que su destrucción reinventa las consignas del monumento histórico.

El vandalismo no actúa solo sobre la dimensión estética de arte (Réau 1994), más que una lectura artística, el malestar sentido a la vista tiene que ver con su función textual conmemorativa o representativa de la historia que el poder institucional reconoce como "memoria". Además, como suscitan Trachana y Şerbănoiu (2020) en su estudio, cuando tratamos con lugares de la memoria cabe varias matizaciones conceptuales y formales que diferencian a un monumento (y a la cualidad de monumentalidad de una obra), los memoriales y los museos: "El memorial encarna el dolor, la pérdida y el tributo o la obligación; al hacerlo, sirve para enmarcar narrativas históricas particulares. (...) En su lectura formal se privilegia su función textual

conmemorativa" (Sturken 1991: 120-121, citado en Trachana y Şerbănoiu 2020: 608).

Para Marschall (2017: 674), el vandalismo es una reacción contraria a la regulación racional del Estado sobre la sociedad y sus espacios cotidianos imponiendo planes y programas en el ámbito público y privado. Cuando esta oposición se manifiesta con la desfiguración del monumento se le acusa de acto irracional, violento y bárbaro. Sin embargo, la humillación sobreentendida en el desgarre provocado por la obra monumental puede traducirse en un gesto de desobediencia civil que rechaza el silencio al que las instituciones obligan, en ocasiones, a la ciudadanía. Esta violencia simbólica es consecuencia de diferentes concepciones del simbolismo del "espacio vacío". La ocupación de estos lugares por organizaciones a favor de la instalación de objetos conmemorativos, calificados de símbolos relevantes para la instrumentalización moral del legado cultural no siempre es bien aceptada por motivos diferentes de carácter ideológico, por su contenido y significado, su forma física y estilo, e incluso por razones territoriales cuando el monumento afecta a la libertad de movimiento, la oportunidad de reunión o al comportamiento de la ciudadanía.

A modo de conclusión

Por último, reconocemos que los monumentos se sumergen en una visión nutrida de valores actuales que les conceden enseguida una dimensión nueva. Sus significaciones se convierten en la matriz de un programa político para el ciudadano disidente que no coincide con las afirmaciones de sus gobernantes e instituciones. Su ubicación pública le otorga al monumento una extraordinaria circunstancia para intervenir en el diálogo entre política y derecho, dirimiendo sobre diferencias. El monumento no solo interviene en la construcción de la opinión pública, sino que también su visibilidad aporta certeza impulsora de transformaciones en la intimidad del ser humano, iluminando su inteligencia o modelando su comportamiento ético.

La inclusión social sirve de justificación para la destrucción del monumento, considerada ahora dicha acción destructiva como estratégica para la renovación política y para la reordenación de movimientos sociales. Las reinterpretaciones de los monumentos, en razón de la verdad o mentira que los sustentan, suscitan polémicas desde hace décadas en los contextos multiculturales y postcoloniales (Tano Palermo 2020). Ello nos hace reflexionar sobre la vigencia de su poder simbólico y la posibilidad de abrir debates. Las imágenes deben interpretarse también como una suma de sustratos culturales. El furor iconoclasta emerge contra el imaginario visual, y alcanza un carácter rotundo con el vandalismo popular.

En ese sentido, existe otro debate pendiente sobre el distanciamiento del monumento con respecto a su legitimidad social en la transmisión de significados. Son

tiempos turbulentos para “la representación del poder vertical en sentido clásico en favor de concatenaciones transversales, múltiples y heterogéneas” (Scotini 2009: 77). El activismo artístico no quiere apropiarse del poder del Estado como en los años sesenta. Su posición ahora es esquivar sus instituciones (museos, colecciones, monumentos, etc.). La iconoclasia se asume desde el activismo artístico como un deseo popular para intervenir en la transformación social del espacio visual común, olvidando su pasada posición de espectador pasivo. Groys alude a una cuestión básica de los actos iconoclastas: “Para arrancar las imágenes de su entorno normal, para liberarlas de la dominación del significado, hay que ejercer una cierta violencia, lo que supone también un cierto sufrimiento” (2021: 158).

El orden burocrático adormece, impulsa el seguimiento de rutinas bajo las cuales se asegura el control de las circunstancias. La creación y destrucción de imágenes supone tanto la asunción de la tiranía de un régimen escópico como la posibilidad de liberarse de él. Los monumentos participan del desorden visual anticipado en la vida comunitaria, cuando deberían depender del entendimiento social.

La crisis del monumento llega con el enfrentamiento entre los modos visuales dominantes y la visión de los nuevos movimientos sociales. La disensión contemporánea se manifiesta frente a la herencia hegemónica de simbolización unitaria de nuestras sociedades. Con el monumento se alcanzaba en el pasado una suerte de consenso que implicaba una identidad inmediata. A su vez, esa identidad instauraba la armonía entre la estructura política de la comunidad y la naturaleza moral y física de la colectividad. Pero esa armonía desaparece gradualmente en el escenario de la globalización.

En las actuales sociedades pluriculturales es cada vez más notable la demanda de agenciamientos, derivas y reapropiaciones populares de la estructura ideológica de la obra monumental que conecta el espacio público con la violencia de la historia. La mirada sensible sobre las contradicciones de los monumentos inflige una herida a la comunidad. Las conmemoraciones, los compromisos y las negociaciones sobre estas iconografías confieren toda su agravante temporalidad a esos elementos en el paisaje de las ciudades (Álvarez Hernández 2019). El patrimonio monumental es un modo visual de encarnar una obsesión del tiempo, una regresión de la memoria colectiva, que causa problemas de legibilidad frente a la diversidad cultural de nuestras comunidades.

Al no ser posible en la actualidad diferenciar entre las imágenes en virtud de su capacidad para enseñar u organizar la sociedad, el vandalismo contra el monumento exige una reforma del entorno público urbano, una conservación selectiva y una destrucción embellecedora y crítica de sus elementos artísticos. No fue la condición histórica del monumento la que justificó su permanencia, sino su capacidad para trascender la historia y proporcionar una

lección para todo tiempo. Sin embargo, este razonamiento tradicional ha fracasado, pues el contexto físico al que permanecía unido ya no es el espacio particular ideal y su permanencia se considera contraproducente. A esta conclusión llegó el estudio de Savage sobre el monumento al compositor Stephen Foster del siglo XIX en Pittsburgh’s Highland Park (Savage 2018: 147).

El monumento construye una nueva poética en el mundo contemporáneo, heredera de la dialéctica romántica entre la permeabilidad de la vida y el arte (Rancière, 2019). Convierte lo normal en excepcional, y lo insólito en ordinario. Y a partir de esta lógica visual organiza cierta clase de política propia. Esta política se afirma sobre una base hermenéutica de símbolos de la historia que es necesario recordar o enseñar.

La crítica contemporánea al monumento puede concebirse como un proceso epistemológico determinado por la racionalización en el intercambio de signos entre la creación artística y los signos de la vida. Dos caminos entrecruzados con la identificación de la consciencia y la inconsciencia, o lo que es lo mismo, la fuerza de las formas (*lógos*) que busca la expresión a través de la materia, y las turbulencias emocionales del *páthos* que desordena las formas de la *doxa*, y devuelve al monumento su poder caótico, heterónimo y el hábito de lo no filosófico, lo impensable en el pensamiento. El monumento es una forma política incorrecta a la que la historia actual le niega su autonomía estética.

El monumento, en cuanto compone una totalidad de signos, debe ser pensado, no basta su visibilidad o su representación; el significante, las formas, no puede marcar los límites a la subjetividad. La crisis del monumento es también la crisis de la historia de la subjetividad, y la subjetividad siempre está determinada por una conciencia que es independiente del exterior. El advenimiento de la conciencia histórica es, desde el espíritu hegeliano, un reconocimiento del otro en el mundo exterior y una lucha por superar su alienación. De este modo, la destrucción de las imágenes puede considerarse como una estrategia de superación, no exenta de sufrimiento por la exhibición de las circunstancias en que se produce.

En la crisis del culto al monumento, éste es despojado de su significado original, es desfigurado, profanado, y maltratada su integridad física, de diversas maneras. Es sacrificado en rituales de violenta humillación, expuesto a la mofa pública en un ambiente de crueldad estructural. Las huellas de ese ultraje revelan la materialidad de la imagen como la carne viva de la subjetividad escondida en su interior.

Referencias

AGENCIAS (2020). “Colón, Cervantes y otras estatuas señaladas por el Black Lives Matter”, *La Vanguardia*, 29 de junio. <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/edad-moderna/20200629/481955036817/protestas-racismo-eeuu-floyd-estatuas-colon-cervantes-jefferson-davies-colbert-junipero-serra.html>

[Consultado 10-9-2021].

ÁLVAREZ HERNÁNDEZ, A. (2019). "The Other(s) Toronto Public Art: The Challenge of Displaying Canadians' Narratives in a Multicultural/ Diasporic City", *RACAR: revue d'art canadienne / Canadian Art Review*, 44 (1): 42-53. <https://www.jstor.org/stable/26654439> [Consultado 4-11-21].

BELLENTANI, F. y PANICO, M. (2016). "The meanings of monuments and memorials: toward a semiotic approach", *Punctum*, 2(1): 28-46. <http://dx.doi.org/10.18680/hss.2016.0004> [Consultado 10-9-2021].

BELTING, H. (2012). "La idolatría hoy". En *Iconoclastia. La ambivalencia de la mirada*, Boehm, G. et al. Madrid: La Oficina Ediciones, 77-97.

CONNOR, S. (2002). *Cultura Postmoderna. Introducción a las teorías de la contemporaneidad*. Madrid: Akal.

CONTRERAS, F. R. y RAMÍREZ ALVARADO, M. (2021). "Estrategias visuales en la protesta activista de movimientos sociales: Eikonoklasmos, furia e imágenes". En *International Association for Media and Communication Research – IAMCR*, United States International University-Africa, Nairobi, Kenya.

FAUS, J. (2015). "El tiroteo de Charleston en datos. La policía detiene al supuesto autor del ataque, un joven blanco de 21 años identificado como Dylann Roof", *El País*, 18 de junio. https://elpais.com/elpais/2015/06/18/actualidad/1434637152_677598.html [Consultado 10-9-2021].

FAUS, J. y DE LLANO, P. (2017). "Tres muertos durante la jornada de caos desatada en Charlottesville por una manifestación racista", *El País*, 12 de agosto. https://elpais.com/internacional/2017/08/12/actualidad/1502553163_703843.html [Consultado 10-9-2021].

FREEDBERG, D. (2009). *El poder de las imágenes: estudios sobre la historia y la teoría de la respuesta*. Madrid: Cátedra.

FREEDBERG, D. (2017). *Iconoclasia: historia y psicología de la violencia contra las imágenes*. Victoria-Gasteiz: Sans Soeif.

GADDIE, K. y EVANS J. (2021). "A Systems Approach to Understanding Community Power in the Debate over Confederate Monuments", *Social Science Quarterly*, 102(3): 1128 - 1150. <http://dx.doi.org/10.1111/ssqu.12971> [Consultado 10-9-2021].

GAMBONI, D. (1997.) *The destruction of art: iconoclasm and vandalism since the French Revolution*. Londres: Reaktion.

GARCÍA MARCO, D. (2016). "¿Dónde está la estatua de Cristóbal Colón que fue juzgada, condenada y colgada el 12 de octubre de 2004 en Caracas?", *BBC Mundo Caracas*, 12 de octubre. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-37625519> [Consultado 10-9-2021].

GROYS, B. (2021). *La lógica de la colección*. Barcelona: Arcadia.
HERNÁNDEZ-MORA, S. (2021). "Colombia retira las estatuas de Colón e Isabel la Católica", *El Mundo*, 11 de junio. Disponible en: <https://www.>

elmundo.es/internacional/2021/06/11/60c3970f21efa025498b466a.html [Consultado 10-9-2021]

LAI, T.-H. (2020). "Political vandalism as counter-speech: A defense of defacing and destroying tainted monuments", *European Journal of Philosophy*, 28(3), 602 - 616. <https://doi.org/10.1111/ejop.12573>

LIM, C.-M. (2020). "Transforming problematic commemorations through vandalism", *Journal of Global Ethics*, 16 (3): 414 - 421. <http://dx.doi.org/10.1111/ejop.12573> [Consultado 10-9-2021].

MANETTO, F. y MARCIAL PÉREZ, D. (2021). "La sustitución de la estatua de Colón divide a los expertos: decisión inteligente, desatino o golpe a la memoria", *El País*, 10 de septiembre. <https://elpais.com/mexico/2021-09-10/la-sustitucion-de-la-estatua-de-colon-divide-a-los-expertos-decision-inteligente-desatino-o-golpe-a-la-memoria.html> [Consultado 13-9-2021]

MARSCHALL, S. (2017). "Monuments and Affordance: Multisensory Bodily Engagements with the Landscape of Memory in South Africa", *Cahiers d'Études Africaines*, 52(3): 671-689. <http://dx.doi.org/10.4000/etudesafricaines.20860> [Consultado 10-9-2021].

MIRANDA, D. F. (2020). "Critical commemorations", *Journal of Global Ethics*, 16(3): 422 - 430. <http://dx.doi.org/10.1080/17449626.2021.1873166> [Consultado 10-9-2021].

MONDZAIN, M.-J. (1996). *Image, icône, économie: les sources byzantines de l'imaginaire contemporain*. Paris: Le Seuil.

NOGUERA GRACIA, T. (2018). "Iconoclasia: Destrucción del Patrimonio y Narrativa en el Yihadismo", *Cadernos de Dereito Actual*, 10: 09-27.

NOYES, J. (2018). Política de la iconoclasia, *Istor. Revista de historia internacional*, 74, 89-100.

PANOFSKY, E. (2004 [1962]). *Estudios sobre iconología*. 14rd. edn. Madrid: Alianza.

PÉREZ-RAMOS, Y. y RAMIRO-ESTEBAN, D. (2020). "Monumentos confrontados: nuevos roles para el patrimonio ante los desencuentros sociales", *Arquitecturas del sur*, 38(58): 44-61 <http://dx.doi.org/10.22320/07196466.2020.38.058.03> [Consultado 10-9-2021].

RANCIÈRE, J. (2019). *Ensayos sobre estética y política*. México: Fondo de Cultura Económica.

RÉAU, L. (1994). *Histoire du vandalisme: les monuments détruits de l'art français*. Paris: Robert Laffont.

REDACCIÓN Y AGENCIAS (2020). "Derrocada la estatua de Edward Colston, comerciante de esclavos del siglo XVII, en Bristol", *La Vanguardia*, 7 de junio. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/internacional/20200607/481656405395/derrocada-estatua-edward-colston-comerciante-esclavos-siglo-xvii-bristol-reino-unido.html> [Consultado 10-9-2021].

RIEGL, A. (2008 [1903]). *El culto moderno a los monumentos*. 3rd. edn. Madrid: La Balsa de la Medusa.

ROS, L. (2020). "La muerte de George Floyd desata protestas contra el racismo y la violencia policial", *La Vanguardia*. <https://www.lavanguardia.com/vida/junior-report/20200608/481662322957/muerte-george-floyd-desata-protestas-racismo-violencia-policial.html> [Consultado 10-9-2021].

SAVAGE, K. (2018). "No Time, No Place: The Existential Crisis of the Public Monument", *Future Anterior: Journal of Historic Preservation, History, Theory, and Criticism*, 15(2): 147-154. <http://dx.doi.org/10.5749/futuante.15.2.0147> [Consultado 10-9-2021].

SCOTINI, M. (2009). "La imagen constituyente. Representación y poder en la sociedad de control". En *Iconoclastia – Iconolatría*, Corbeira, D. (ed.). Madrid: Brumaria, 69-80.

SERT, J. L., LÉGER, F. y GIEDION, S. (2015). "Nueve puntos sobre monumentalidad", *URBS. Revista de Estudios Urbanos y Ciencias Sociales*, 5(2): 197-206. <http://www2.ual.es/urbs/index.php/urbs/article/view/cachorro> [Consultado 10-9-2021].

SONEIRA, I. (2020). "Imágenes del peronismo verdadero", *Avances del Cesor*, 17(23). <https://doi.org/10.35305/ac.v17i23.1284> [Consultado 10-9-2021].

STOLLBROCK TRUJILLO, G. (2017). "Representación claroscuro: una exploración audiovisual y teórica de la representación del pasado en el cine documental", *Íconos. Revista de Ciencias Sociales*, 59: 79-102. <https://doi.org/10.17141/iconos.59.2017.2678> [Consultado 10-9-2021].

STROTHER, Z. (2002). "Iconoclasm by Proxy". En *Iconoclasm*, Latour, B. and Weibel, P. (eds.). Cambridge MA: MIT Press, 458-459.

STURKEN, M. (1991). "The Wall, the Screen, and the Image: The Vietnam Veterans Memorial", *Representations*, 35: 118-142. <https://doi.org/10.2307/2928719> [Consultado 10-9-2021].

TANO PALERMO, M. (2020). "From Social Deviance to Art: Vandalism, Illicit Dumping, and the Transformation of Matter and Form", *Social Sciences*, 9(106): 1-15. <https://doi.org/10.3390/socsci9060106> [Consultado 10-9-2021].

TRACHANA, A. y ȘERBĂNOIU, I.-G. (2020). "Violencia, memoria y arquitectura. Las formas de objetivación de la memoria de los acontecimientos violentos del último siglo en el espacio", *Arte, Individuo y Sociedad*, 32(3): 603-624. <https://doi.org/10.5209/aris.63557> [Consultado 10-9-2021].

WATNEY, S. (2015). "Iconoclasm", *The Burlington Magazine*, 157(1344): 186-189. <http://www.jstor.org/stable/24242298> [Consultado 10-9-2021].

Documentos jurídicos

Parlamento Europeo. Propuesta de Resolución Común presentada de conformidad con el artículo 132, apartados 2 y 4, del Reglamento interno para sustituir a las propuestas de Resolución siguientes: B9-0097/2019 (PPE); B9-0098/2019 (ECR); B9-0099/2019 (S&D); B9-0100/2019 (Renew) sobre la importancia de la memoria

histórica europea para el futuro de Europa (2019/2819(RSP)).

Jefatura del Estado España. Ley 52/2007, de 26 de diciembre, por la que se reconocen y amplían derechos y se establecen medidas en favor de quienes padecieron persecución o violencia durante la Guerra Civil y la Dictadura. BOE núm. 310, de 27/12/2007. Entrada en vigor: 28/12/2007 Departamento: Jefatura del Estado. Referencia: BOE-A-2007-22296. Permalink ELI: <https://www.boe.es/eli/es/l/2007/12/26/52/con>

Autor/es



Fernando R. Contreras

fmedina@us.es

Profesor Titular de la Universidad de Sevilla
Vicedecano de la Facultad de Comunicación
<https://orcid.org/0000-0003-1105-5800>

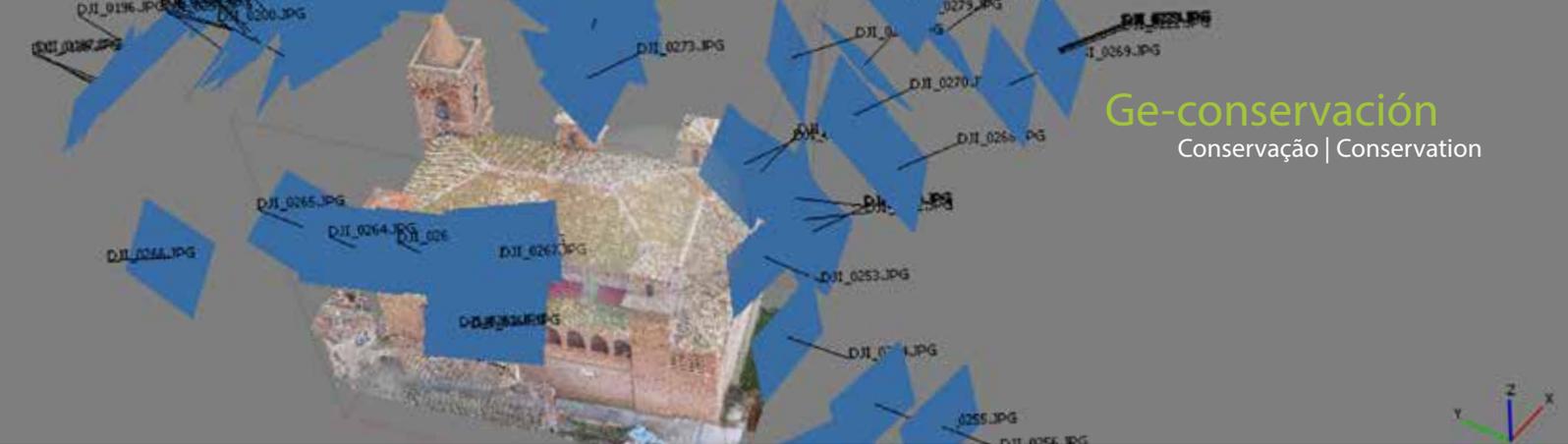
Doctor en Filosofía y en Ciencias de la Información y licenciado en Bellas Artes (Diseño y Grabado). Realizó estudios en la licenciatura de Biología, Diseño Industrial y Comunicación Audiovisual. Actualmente es profesor de Cibercultura en el Departamento de Periodismo 1 de la Universidad de Sevilla y de Arte, Tecnología y Comunicación en el Máster de Comunicación y Cultura. Es Vicedecano de la Facultad de Comunicación (12 años) y director del Grupo de Investigación de Tecnología, Arte, Documentación y Comunicación del Plan Andaluz de Investigación (PAIDI HUM868). Ha publicado textos (libros y artículos) sobre Filosofía de la Comunicación, Estudios Visuales, Arte y Teoría de la Cultura. Es autor de "El ciber mundo. Dialéctica del discurso informático" (1998), uno de los primeros estudios narrativos en España sobre el videojuego. Su último libro se titula "La desobediencia visual. Estética de los movimientos sociales del siglo XXI" (2021). Es profesor desde hace más de doce años en LLSH (Faculty of Humanities and Social Sciences, Université Savoie Mont Blanc) con docencia en el Master Création Numérique, en Annecy y en Châmbéry (Francia) y durante cuatro años colaborador con el programa de doctorado de la ComUE – Communauté Université Grenoble Alpes. También ha ejercido durante 10 años como director de arte publicitario y ha realizado varias exposiciones de arte.

Artículo enviado el 14/09/2021

Artículo aceptado el 02/11/2021



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1047>



Metodología de captura y procesado para el desarrollo de una base de datos gráfica 3D del patrimonio arquitectónico

Marta Quintilla Castán, Luis Agustín Hernández

Resumen: La documentación del Patrimonio requiere una representación ordenada de la información almacenada, debido a la diversidad de disciplinas que intervienen en el sector, con campos altamente especializados, que afecta a la comunicación entre los diferentes agentes que intervienen en los procesos de documentación. La recopilación, clasificación, análisis y presentación de la información precisa del empleo de protocolos para ordenar y utilizar de forma comprensible y coherente. Por ello, la propuesta metodológica plantea la definición de unas pautas generales para realizar la captura y el procesado de la información generada, con el fin de desarrollar una base de datos gráfica que permita representar a través de un modelo 3D la información relativa al patrimonio arquitectónico. La documentación, organizada bajo un modelo de datos común, facilita la interoperabilidad y la accesibilidad a la información archivada, y su posterior gestión.

Palabras clave: modelo 3D, patrimonio arquitectónico, base de datos, nube de puntos, segmentación, anotación

Capture and processing methodology for the development of a 3D graphic database of architectural heritage

Abstract: Heritage documentation requires an orderly representation of the information stored, due to the diversity of disciplines involved in the sector, with highly specialized fields and that affects communication between the different agents that intervene in the documentation processes. The collection, classification, analysis and presentation of the information, requires the use of protocols to order and use it in a comprehensible and coherent way. For this reason, the methodological proposal suggests the definition of some general guidelines to carry out the capture and processing of the information generated, in order to develop a graphical database that allows to represent through a 3D model, the information related to the architectural heritage. The documentation, organized under a common data model, facilitates the interoperability and accessibility of the archived information, and its subsequent management.

Keywords: 3D model, architectural heritage, database, pointcloud, segmentation, annotation

Metodologia de captura e processamento para o desenvolvimento de uma base de dados gráfica 3D do património arquitectónico

Resumo: A documentação do património exige uma representação ordenada da informação armazenada, devido à diversidade de disciplinas que intervêm no sector, com campos altamente especializados, que afecta a comunicação entre os diferentes intervenientes nos processos de documentação. A recolha, a classificação, a análise e a apresentação de informações precisas sobre a utilização de protocolos para ordenar e utilizar de forma compreensível e coerente. A proposta metodológica propõe a definição de orientações gerais para a captura e o processamento da informação gerada; a fim de desenvolver uma base de dados gráfica que permita representar, através de um modelo 3D, a informação relativa ao património arquitectónico. A documentação, organizada segundo um modelo de dados comum, facilita a interoperabilidade e a acessibilidade das informações arquivadas, bem como a sua posterior gestão.

Palavras-chave: Modelo 3D, património arquitectónico, banco de dados, nuvem de pontos, segmentação, anotação

Introducción

La recopilación, clasificación, análisis y presentación de la información requiere del empleo de protocolos para ordenar y utilizar de forma comprensible y coherente. Para que el modelo 3D sea una herramienta efectiva para el estudio de los diferentes actores que intervienen en el patrimonio, como arquitectos, arqueólogos, historiadores, ingenieros o conservadores, debe ser capaz de almacenar distintos tipos de información variada en múltiples formatos. Por ello, el empleo de un modelo de datos común facilita la interoperabilidad y la accesibilidad a la información archivada y su uso por parte de diferentes actores para múltiples y variados usos.

La difusión del Patrimonio Cultural en las últimas décadas ha ido ligado al desarrollo de las herramientas informáticas utilizadas por los investigadores para la visualización y gestión de la información, influyendo en la metodología de trabajo, ya que permite generar mayor documentación con gran precisión, que debe ser almacenada y gestionada de un modo rápido, accesible y sencillo.

Esto ha originado que la documentación establecida de manera tradicional (planos, fotografías...) se vea complementada con una representación espacial y virtual del objeto. Los beneficios obtenidos son tan numerosos, que en la actualidad la restauración de bienes patrimoniales conlleva la obligación de la obtención de un modelo 3D, que permitirá volcar en él datos provenientes de la investigación. Para ello, se precisa la utilización de técnicas de captura de información geométrica como la fotogrametría y el escaneado láser 3D.

En la primera sección se detallan distintas técnicas de captura de información de datos volumétricos que otorgan información geométrica y capacidad de medición del objeto a estudiar, pasando por exponer los distintos productos obtenidos tras la fase de adquisición, que permiten representar gráficamente el edificio. A continuación, se describen los distintos aspectos a tener en cuenta para realizar un correcto procesado del modelo para su posterior integración en un Sistema de Información. La tecnología necesaria para implementar esta base de datos o catálogo, debe incluir la toma en consideración de estándares relacionados con el patrimonio cultural,

los sistemas de información geográfica y los sistemas de documentación, además del uso de ontologías específicas relacionadas con el patrimonio arquitectónico y cuyo fin es facilitar la interoperabilidad de la web semántica.

Establecidos los estándares y vocabularios, se procede a la segmentación y clasificación del modelo mediante la estructuración de relaciones jerárquicas y el enriquecimiento semántico, o sea la definición del significado de los conceptos, que permiten una administración eficiente de la información almacenada. El modelo se completa con el proceso de anotación, que permite enlazar información entre el modelo geométrico e información complementaria asociada a él, para a continuación poder ser analizada.

Una vez tenidas en cuenta las distintas herramientas, se habrá adquirido el conocimiento necesario para establecer un protocolo o metodología adecuada para el desarrollo de una base de datos gráfica, que permita el inventario del patrimonio arquitectónico. El resultado es un modelo que, bajo un soporte común de conocimiento, permite incluir y relacionar información referida a él. Pero para poder hacer uso de esa información, el proceso se completará posteriormente con la inclusión del modelo en un Sistema de Gestión, capaz de realizar análisis y consultas. Para ello, existen diversas propuestas metodológicas como HBIM, SIG, visores desarrollados para WebGL o software específico de inventariado, cuya finalidad es la integración, procesado y análisis de los materiales disponibles durante todo el ciclo de vida del edificio, así como favorecer la interoperabilidad de la información entre distintas bases de datos [Figura 1].

Base tecnológica para la captura

Los modelos de información requieren unas características especiales para su uso por parte de los diferentes tipos de usuarios que intervienen en el patrimonio. Para obtener la información base con la que comenzar a trabajar, se utilizan técnicas de adquisición como la fotogrametría terrestre o aérea de baja cota y el escáner láser que implican la obtención de grandes volúmenes de datos en poco tiempo, con gran resolución y detalle. La elección de las distintas técnicas de captura se adapta a las condiciones

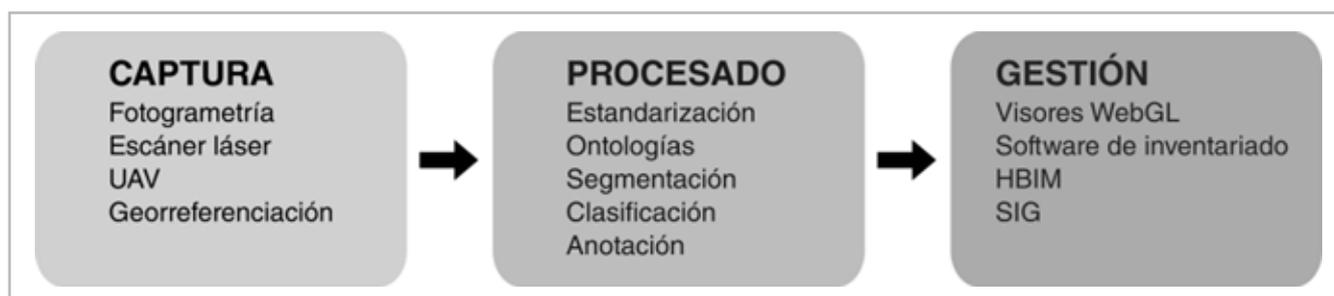


Figura 1.- Esquema para la creación de un modelo 3D completo del patrimonio arquitectónico.

del objeto a capturar, a los instrumentos que están al alcance, su coste y al tipo de documentación a obtener tras el procesado de la información, aunque parece razonable la utilización de técnicas mixtas.

Las técnicas de adquisición han influido en el flujo de trabajo que ha de realizarse para llevar a cabo los levantamientos, estos cambios implican a su vez una evolución en los resultados obtenidos ya que deben administrar gran cantidad de datos que deben mostrarse de un modo eficaz, rápido, preciso y sin pérdida de información.

—Técnicas de captura de datos

Existen distintas técnicas para realizar la captura de datos del patrimonio arquitectónico que han ido evolucionando a lo largo del tiempo. Estos cambios han ido ligados al desarrollo de los medios, instrumentos y tecnologías, que se han ido adaptando a las necesidades que requerían los nuevos métodos de representación y levantamiento [Figura 2].

Seguidamente se pasan a detallar las técnicas más utilizadas en el ámbito del patrimonio, además de ser las empleadas para llevar a cabo la propuesta metodológica que se expondrá en capítulos posteriores, por su accesibilidad, coste y facilidad de uso.

— 1. Fotogrametría

La fotogrametría permite obtener la información tridimensional de un objeto mediante el uso de la

fotografía, que permite medir sobre ellas, convirtiendo a la fotografía en un sistema de medida. Históricamente la fotogrametría ha consistido en la comparación de puntos homólogos a través de pares de fotografías “homólogas”, que comparten dichos puntos desde posiciones diferentes, la estereoscopia. Inicialmente se restituían estos pares homólogos con restituidores analógicos, muy utilizados en cartografía. Con la incorporación de la fotografía digital, se pasó a aplicar esta razón trigonométrica a través de aplicaciones informáticas en las que se señalaban puntos homólogos. En la actualidad con la técnica, SfM (Structure from motion) la correlación es automática, localizando un pixel y su valor RGB, haciéndolo único al considerar los valores RGB de los puntos circundantes, lo que permite enlazar estos puntos homólogos sobre el software, este hecho repetido millones de veces nos proporciona nubes de puntos de gran calidad y definición.

Se puede clasificar la fotogrametría en función de la ubicación del sensor en la toma fotográfica, diferenciándose en terrestre y aérea. La opción de poder registrar datos en tomas aéreas, mediante el uso de fotografías o láser, permite abarcar grandes superficies de terreno y zonas de difícil acceso, consiguiendo levantamientos rápidos y homogéneos. Por el contrario, la toma fotográfica terrestre en ocasiones conlleva inconvenientes al encontrarse con elementos que interfieren en la vista o que ocultan otros elementos, al igual que se produce otro tipo de obstrucciones en las tomas aéreas, así como a menudo una exactitud menor debido a la lejanía del objeto y la oblicuidad de la toma, especialmente en cascos urbanos. Esta tecnología basada en la captura masiva de puntos (pixels), debe complementarse con la toma de puntos a través de

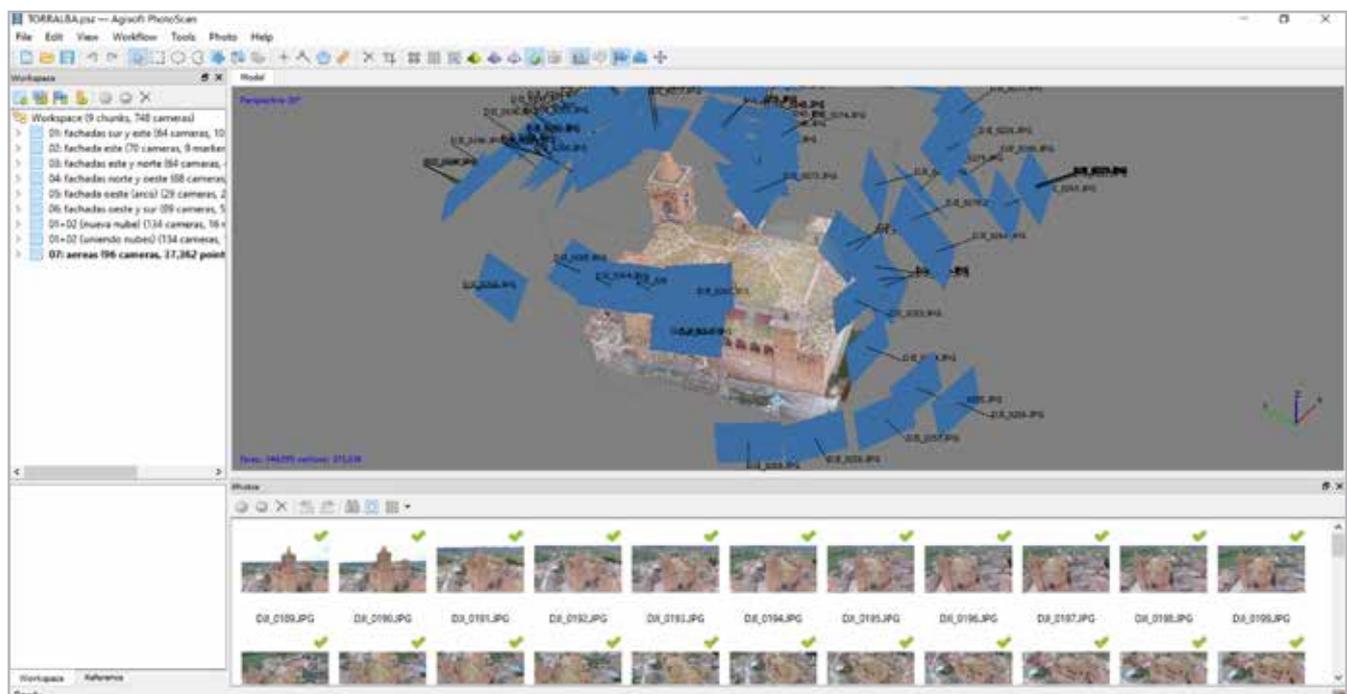


Figura 2.- Iglesia de San Félix en Torralba de Ribota (Zaragoza), estilo Gótico Mediterráneo, Mudéjar Aragonés. Toma de datos realizada mediante Fotogrametría. Fuente: Área de Expresión Gráfica Arquitectónica de la Universidad de Zaragoza.

“estación total”, donde de forma manual podemos capturar las coordenadas de puntos concretos, que podrían servirnos para restituir objetos de geometrías sencillas o escalar las nubes de puntos obtenidas desde la fotogrametría.

— 2. Lidar

El LIDAR (Light Detection And Ranging) es una técnica de teledetección que incluye un dispositivo con un sensor óptico, generalmente aerotransportado, que emite rayos láser hacia un objeto o superficie para determinar la distancia entre el emisor y el objeto. La medición se efectúa registrando el tiempo consumido entre la emisión del pulso láser y su regreso al efectuarse la señal reflejada denominada esta técnica por tiempo de vuelo, complementaria de la conocida como de cambio de fase, entre el rayo incidente y el rayo reflejado. La combinación de estos datos con información geográfica GPS (Global Positioning System) del dispositivo e INS (Sistemas de Navegación Inercial), plan de vuelo, se transforman en medidas precisas de puntos tridimensionales del objeto reflector. Posteriormente, se procesan los datos de cada punto, a los que se asignan coordenadas x, y, z georreferenciadas, tras ser analizados los datos de rango de tiempo de láser, ángulo de escaneo, información del INS y posición del GPS.

Las técnicas LIDAR permiten obtener una nube densa de puntos con resoluciones milimétricas en comparación con otras técnicas de levantamiento, convirtiéndolas en una de las técnicas más utilizadas en el campo del patrimonio cultural.

En función del tipo de dispositivo se pueden diferenciar varios tipos de escáneres láser: Aéreos, con fines cartográficos o zonas con dificultad de acceso, escáner láser terrestre (TLS) adecuado para registrar la documentación del patrimonio y escáner láser de mano, para mediciones más cercanas con mayor detalle o de pequeños objetos.

— 3. UAV

Recientemente ha proliferado la utilización de vehículos aéreos no tripulados (UAV), conocidos como drones, para su uso en la captura de datos, debido a su facilidad de uso y su capacidad de acceso a zonas que no permiten las adquisiciones por medios manuales. La capacidad de control remoto del vuelo, el bajo coste, la alta resolución y la rapidez de adquisición son algunas de las características que han favorecido su empleo en el campo del patrimonio arquitectónico, aunque debe de tenerse en cuenta la legislación vigente, que en el caso español obliga a notificarlo a la agencia española de seguridad aérea, a la policía nacional o guardia civil, según su jurisdicción y a la policía local, así como la existencia de dos pilotos titulados, mantener siempre la visual del dron, paracaídas de emergencia, seguros y demás permisos que garanticen

en todo momento la inalterabilidad del bien cultural, independientemente de las circunstancias.

Este tipo de vehículos permiten montar diferentes tipos de tecnologías para la toma de datos, como sensores LIDAR, cámaras fotográficas de alta resolución para fotogrametría, sensores térmicos, cámaras de video o cualquier tipo de sensor que cumple los requisitos de dimensión y carga.

— 4. Georreferenciación

Los modelos 3D obtenidos tras la utilización de las citadas técnicas, necesitan incorporar información relativa a la escala (en el caso de la fotogrametría) y orientación, para completar así un modelo geométrico preciso que se pueda georreferenciar y por tanto posicionar geográficamente. De este modo, se ubican en un sistema de referencia común que permite representarlos en su contexto y analizar las relaciones espaciales con otros objetos, en forma, tamaño y posición.

En función del tipo de geometría que se debe georreferenciar, así como las exigencias en las mediciones que se desean obtener, la elección de la técnica a utilizar varía. Por ello, se han de tener en cuenta una serie de requisitos para seleccionar el método de georreferenciación más adecuado en cada momento. En primer lugar, se debe delimitar la precisión requerida para los trabajos a llevar a cabo, el tiempo disponible para la fase de medición, los costos de los instrumentos y del software de procesado y finalmente la accesibilidad del objeto a medir. La valoración de estos factores facilitará la selección de la técnica adecuada en relación a las necesidades específicas de cada proyecto.

— Productos obtenidos como resultado de la captura

Una vez obtenidos los datos mediante la utilización de las herramientas expuestas en el apartado anterior, el siguiente paso es determinar el tipo de producto que se desea obtener para mostrar la información del modo más adecuado a las necesidades específicas. Algunos de los métodos de representación más utilizados en el campo del patrimonio arquitectónico para el intercambio de información son:

La nube de puntos: Es el primer producto que se obtiene tras el procesado de los datos obtenidos de la ejecución de las técnicas anteriormente expuestas. Es un conjunto de vértices en un sistema de coordenadas de referencia tridimensional X, Y, Z, que describen la posición en el espacio de puntos que representan la superficie externa de un objeto, así como información relativa a su color, en coordenadas RGB, o la reflectividad del material.

Tras la fase de adquisición, se obtienen nubes de puntos densas, que han de ser procesadas para optimizarse, reducir

el ruido y mejorar la calidad. Mediante el tratamiento de las nubes de puntos se generan productos que se pueden utilizar como base para otros pasos de procesamiento:

Mallas 3D: Una vez obtenida la nube de puntos se pueden revisar y texturizar directamente, pero también se puede procesar para convertirla en una superficie tridimensional formada por pequeños planos poligonales, triangulares o modelos de superficie NURBS para ser utilizadas por algunas de las aplicaciones más frecuentes. Existen varias técnicas para transformar la nube de puntos en una malla tridimensional, como la triangulación de Delaunay, las formas alfa o el algoritmo de Marching cubes [Figura 3].

Modelos Digitales del Terreno (DEM): Son puntos que representan valores de altura en una dirección seleccionada, estructurados por lo general según una cuadrícula regular. Se suelen representar en formatos ráster, donde cada valor se almacena en un pixel que corresponde a un punto de la nube. Las nubes de puntos son una de las fuentes de datos utilizado por los Sistemas de Información Geográfica para construir modelos digitales del terreno, ya que permiten análisis de datos ráster y vectoriales.

Ortoimagen: Es una representación bidimensional del objeto escaneado, cuya perspectiva y deformaciones han sido rectificadas. Es un producto métrico enriquecido con información temática, que permite tomar medidas en verdadera magnitud, sobre geometrías ubicadas en planos paralelos al de proyección. Se puede utilizar como base para el trazado de dibujos tradicionales en 2D.

Dibujos técnicos: Se elaboran a través de los Modelos de CAD (computer-aided design o Diseño asistido por ordenador)

obtenidos mediante un proceso de reconstrucción bidimensional, sobre el modelo tridimensional, para la obtención de “planos”, plantas, alzados secciones detalles, etc. Los dibujos tradicionales 2D siguen siendo la base de los proyectos de restauración y conservación del patrimonio arquitectónico.

Mapas de deformaciones: Mediante el uso de software, se puede aplicar patrones cromáticos a la nube de puntos para resaltar deformaciones sobre las superficies. Se emplean para realizar análisis y comparar discrepancias entre un modelo teórico y el modelo escaneado, por ejemplo, se utilizan el caso de deformaciones estructurales o desplomes.

Recursos multimedia y realidad virtual: Las nuevas tecnologías permiten generar recursos para comunicar diferentes tipos de información a un público muy variado. La calidad de la resolución de las nubes de puntos con imágenes HDR, High Dynamic Range (alto rango dinámico), al modificar la luminancia en las zonas oscuras de sombra y las zonas más expuestas, ofrecen un aspecto “hiperrealista” que facilita su incorporación a recursos multimedia de visualización como la realidad virtual, a través de recorridos virtuales por la nube de puntos.

Base tecnológica para el procesado del modelo

Cuando se trabaja con grandes volúmenes de información, es primordial crear una estructura capaz de mostrar los datos de un modo organizado y accesible para consulta. La documentación del Patrimonio requiere una representación ordenada de la información almacenada, debido a la diversidad de disciplinas que intervienen en el sector,

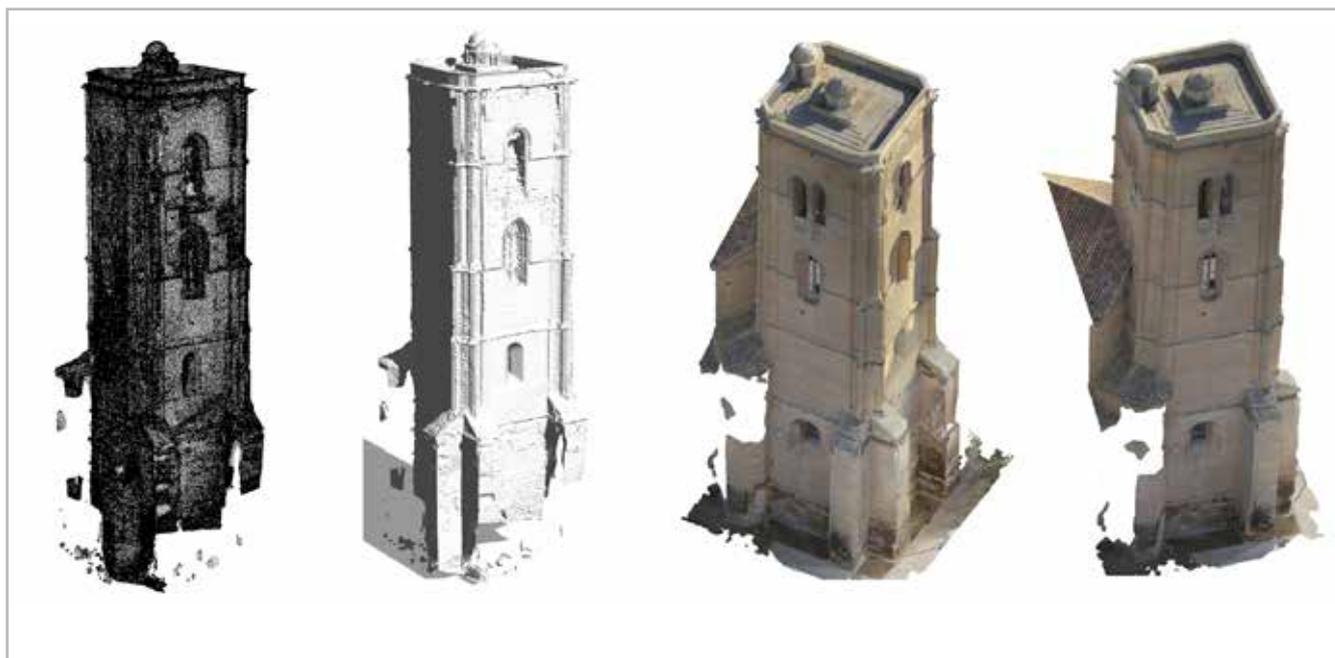


Figura 3.- Distintos tipos de productos generados tras la obtención de la nube de puntos. Ejemplo de modelo de nube de puntos, malla y texturizado de la Torre Gótica de Alcañiz (Teruel). Fuente: Área de Expresión Gráfica Arquitectónica de la Universidad de Zaragoza.

con campos altamente especializados, que afecta a la comunicación entre los diferentes agentes que intervienen en los procesos de documentación.

El empleo de un modelo de datos común facilita la interoperabilidad y la accesibilidad a la información archivada. El sector se caracteriza por la dificultad de integración de esquemas para asociar información complementaria entre varios sistemas, situación que se puede solventar gracias a la utilización de normas internacionales relacionadas con el ámbito de la representación del patrimonio arquitectónico, que permiten la vinculación de vocabularios específicos y el uso de ontologías formales [Figura 4].

— Estandarización

El patrimonio cultural requiere de la utilización de bases de datos como instrumento para gestionar e inventariar la información. La recopilación, clasificación, análisis y presentación de la información precisa del empleo de

protocolos para ordenar y utilizar de forma comprensible y coherente. Por ello, el empleo de un modelo de datos común facilita la interoperabilidad y la accesibilidad a la información archivada y su uso por parte de diferentes actores para múltiples y variados usos.

Los riesgos asociados a la normalización del patrimonio cultural se centran en la pérdida de información asociada al bien. El desarrollo de estándares y normas nacionales e internacionales tienen como fin crear bases de datos compatibles y consistentes para facilitar el intercambio de información, mediante el uso de tecnologías informáticas que resultan necesarias para gestionar grandes cantidades de datos almacenados bajo estructuras complejas. De este modo, se proporciona y garantiza la pervivencia y la migración de datos sin riesgos a largo plazo, a pesar de la evolución tecnológica y la implantación de nuevos sistemas que reemplacen a los antiguos.

Para permitir la interoperabilidad entre las bases de datos, existe una serie de normas internacionales relacionadas con el ámbito de la representación del patrimonio cultural y en concreto el

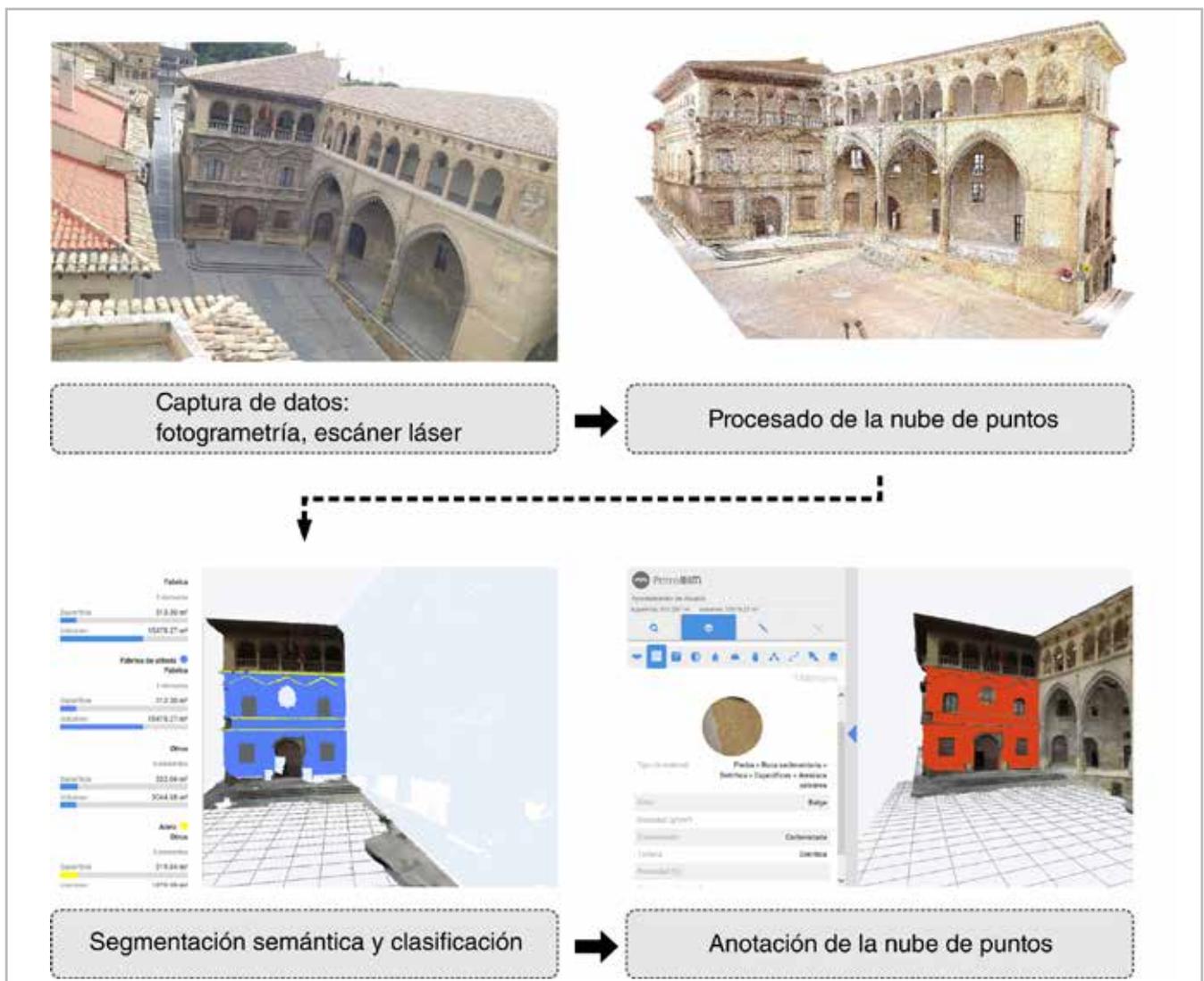


Figura 4. Descripción general de la metodología propuesta. Fuente: Elaboración propia.

patrimonio arquitectónico, que permiten la vinculación de vocabularios específicos y que se deben considerar para la realización del modelo 3D y su posterior difusión.

El “Core Data Index to Historic Buildings and Monuments of the Architectural Heritage” es un estándar elaborado por el Consejo de Europa y el Getty Information Institute en 1992 con el fin de facilitar la documentación y estandarización de monumentos arquitectónicos, basado en la comparación de distintos métodos de inventariado usados en varios países.

El índice busca ser un sistema flexible que permita a las organizaciones actuar en campos específicos de su interés. No desea establecer especificaciones tecnológicas, sino aportar unas primeras recomendaciones de estándares técnicos para la captura e intercambio de datos.

El estándar fue desarrollado en paralelo a otro estándar básico como el “Core Data Standard for Archaeological Sites and Monuments” (1995), y cuya misión es complementar al Core Data Index to Historic Buildings and Monuments of the Architectural Heritage con el fin de facilitar la integración de ambos en una única base de datos.

En el ámbito de la documentación del patrimonio, se deben integrar estándares internacionales de inventariado y documentación, para realizar una gestión útil de todos los datos generados e implementados por parte de todas las disciplinas.

Para la consecución de estos objetivos, fue creada la norma ISO 15489 para la Gestión Documental. Se compone de dos partes, la primera contempla un ámbito más genérico, donde se definen los conceptos básicos, principios y requisitos de la gestión de documentos, con el fin de asegurar la protección de la información y que esta pueda ser recuperada de un modo eficaz. La segunda parte, es un informe técnico enfocado a la definición metodológica de la implementación de los contenidos expuestos en la primera parte de la norma, donde se establecen directrices que dan forma a los procesos e instrumentos de gestión de documentos, así como a la necesidad de utilización de metadatos para la gestión de los documentos electrónicos y los requisitos que deben cumplir (Alonso, García-Alsina y Lloveras 2007).

Una buena gestión documental es la base para asegurar el mantenimiento de las bases de datos a lo largo del tiempo, preservar la información y que esta esté disponible para su uso e integración por parte de cualquier organización que lo requiera. Por ello, la implementación de la normativa aporta mayor eficiencia a la hora de plantear una propuesta metodológica para la representación del patrimonio arquitectónico.

— *Ontologías para la gestión del patrimonio cultural*

En el ámbito de patrimonio cultural, las nuevas tecnologías permiten producir grandes cantidades de información relacionadas con la representación digital de objetos. Estos

se almacenan en Sistemas de Información para poder ser gestionados por las instituciones o investigadores y poder ser accesibles también al público general. Debido a la diversidad de disciplinas que intervienen en el sector, con campos altamente especializados, la interoperabilidad entre sistemas y la accesibilidad tienen una demanda creciente. El sector se caracteriza por la dificultad de integración de esquemas para asociar información complementaria entre varios sistemas, situación que se puede solventar gracias a la utilización de ontologías formales (Doerr 2009).

Las ontologías estudian el objeto tal como es, frente a cómo se percibe, con el fin de definir una categorización y las relaciones entre sus términos, para favorecer la comunicación entre personas, organizaciones y aplicaciones, así como lograr una cierta interoperabilidad entre diferentes propuestas de catálogo.

Las ontologías, o definición formal de tipos, propiedades, y relaciones entre estas, desempeñan un papel fundamental en las tecnologías de la información, como estructura clave tanto para la interoperabilidad de las bases de datos como para la recuperación de la información (Laurini 2015). Los objetivos fundamentales de las ontologías son (Guizzardi 2010) el razonamiento automatizado y la interoperabilidad semántica, basada en su uso como modelo de referencia, lo cual es considerado fundamental para las necesidades de interoperabilidad de bases de datos y recuperación de información en la Web Semántica.

Para lograr la interoperabilidad semántica, es necesario establecer una ontología que maximice la claridad conceptual para permitir la comunicación, la resolución de problemas y armonizar puntos de vista y terminologías heterogéneas (Laurini 2012).

Un campo esencial a tener en cuenta en las plataformas web enfocadas a la difusión del patrimonio, es la utilización de modelos semánticos, Open Semantic Web technologies, para hacer un uso más efectivo de los recursos y mayor velocidad de visualización, resolviendo problemas de interoperabilidad entre modelos 3D y el software asociado (Apollonio et al. 2011). La web permite la explotación de grandes volúmenes de datos heterogéneos, que requieren una correcta interpretación para ser publicados. Las herramientas disponibles esenciales para el desarrollo de la Web Semántica son las ontologías y los modelos de datos estándar, que especifican de manera inequívoca la estructura de los datos y prescriben cómo deben interpretarse (Noardo 2016).

Existen varias ontologías que tratan conceptos o entidades, que podrían ser considerados para algunos aspectos del estudio del patrimonio arquitectónico.

La principal ontología utilizada para la gestión de la documentación del patrimonio cultural es CIDOC-CRM “CIDOC Conceptual Reference Model”, desarrollado por

el CIDOC Documentation Standards Working Group. Desde 2006 está reconocido como estándar internacional ISO21127:2014.

CIDOC-CRM es compatible con otros vocabularios como los elaborados por el Getty Institute. El tesoro de Arte y Arquitectura (AAT) elaborado por el Getty Institute, se usa para proveer la infraestructura semántica, proporcionando una ontología para el intercambio de información del patrimonio cultural y la integración de fuentes heterogéneas. Específicamente destinado a cubrir la información contextual, como los antecedentes históricos, geográficos y teóricos, se compone de términos para ser usados en la descripción, acceso e intercambio de información de objetos relacionados con el arte y la arquitectura.

— Segmentación y clasificación

Para una administración eficiente de la información almacenada en modelos 3D hay que tener en consideración métodos de segmentación y clasificación, mediante la estructuración de relaciones jerárquicas y el enriquecimiento semántico. El proceso de segmentación se realiza agrupando datos con propiedades similares, asociadas a regiones del modelo. Una vez finalizado, se procede a la clasificación mediante su etiquetado semántico. Existen múltiples procedimientos para realizar la labor de segmentación de las nubes de puntos, los principales son: mediante el proceso de segmentación de bordes, regiones, descomposición del modelo en formas primitivas o enfoques de aprendizaje automático, en los que el modelo no es sólo segmentado, sino que también es clasificado semánticamente.

Se puede definir la segmentación semántica como un subconjunto funcional o una subdivisión estructural en partes que se define sobre una forma dada, en definitiva, es una agrupación de puntos de la nube, que comparten una identidad semántica, puede ser estilística, por el material representado, temporal, etc. En la literatura se han presentado muchos métodos para la caracterización y segmentación de formas "semi" automáticas. Éste último utiliza algoritmos de inteligencia artificial que permiten a los ordenadores tomar decisiones basados en datos empíricos y aprendidos. Estos algoritmos proporcionan una partición del modelo 3D en partes basadas en criterios relacionados con la forma y se centran en cómo producir la segmentación, en lugar de la tarea de asociar una etiqueta o datos semánticos con esas partes. Esta segmentación, a menudo concebida como una descomposición estructural, depende principalmente de las características de forma inherentes de la malla, o de interpretaciones funcionales de las partes o componentes, en lugar de un proceso impulsado por el usuario. La segmentación automática puede centrarse en componentes estructurales, así como en características mucho más finas, los metadatos se pueden definir en cada uno de sus subcomponentes (por

ejemplo, peso, material, ID de la parte, función, enlaces a datos externos). El método posee ventajas como la reducción del tiempo de clasificación, la replicabilidad del aprendizaje a otros edificios del mismo periodo histórico, así como la visualización de la clasificación sobre el modelo 3D (Grilli y Remondino 2019).

— 1. Pre-procesado de la nube de puntos

Para comenzar el proceso de segmentación, es necesario preparar la nube de puntos previamente, para adaptar el conjunto de datos de una manera eficiente a la segmentación (Malinverni et al. 2019). En primer lugar, se realiza la operación de normalización para posibilitar el renderizado de varias escenas de manera similar. A continuación, se georreferencia la nube de puntos y se hace una traslación para mover el origen de coordenadas al punto (0, 0, 0). En general, se trabaja con nubes de puntos muy grandes, difíciles de gestionar, siendo en ocasiones necesario el submuestreo para poder manejarlas. En el caso de trabajar con segmentación automática, como Deep learning, se debe realizar una selección de funciones, para facilitar que la red neuronal aprenda de ellas y mejore el rendimiento general.

— 2. Métodos de segmentación

La segmentación es el proceso de agrupación de regiones homogéneas de datos que tienen propiedades en común, en función de algún criterio establecido. Existen distintas formas de clasificar los métodos de segmentación y múltiples metodologías, algunas de las cuales se describen a continuación (Grilli y Remondino 2019).

La segmentación basada en la delimitación de bordes, consiste en detectar los bordes de diferentes regiones para posteriormente agrupar puntos dentro de los límites. Estos bordes se definen mediante puntos donde sus propiedades exceden del umbral dado. Las propiedades de superficie más utilizadas son normales, gradientes, curvaturas o derivadas de orden superior. Este método supone un proceso de segmentación rápido, pero produce resultados incorrectos.

Los métodos basados en regiones consisten en la agrupación de puntos con características similares que funcionan con algoritmos de crecimiento. La segmentación comienza con uno o varios puntos con características similares, que crece alrededor de puntos vecinos hasta delimitar regiones con las mismas propiedades, como la orientación de la superficie o la curvatura.

El método basado en modelos, descompone el objeto en formas geométricas primitivas, como cilindros, esferas o planos, que se ajustan a las formas del modelo 3D. El método a veces se ve limitado para formas complejas o procesos automatizados requiriendo el uso de

descriptores locales para proporcionar una solución más adecuada. Alguno de los algoritmos más utilizados en esta metodología son Hough Transform (HT) y Random Sample Consensus (RANSAC).

Las técnicas descritas se consideran los métodos clásicos de segmentación, sin embargo, para modelos complejos es necesario recurrir a métodos de aprendizaje automático y aprendizaje profundo, que además de segmentar el modelo también lo clasifican.

Machine Learning es un método que, mediante la utilización de algoritmos de inteligencia artificial, permite a los ordenadores tomar decisiones basadas en datos empíricos entrenados y aprendidos. La guía en el proceso de segmentación mejora los resultados futuros gracias al aprendizaje iterativo, pero requiere un gran esfuerzo de retroalimentación. Por otro lado, Deep Learning se puede considerar una evolución del Machine Learning. Sus algoritmos están estructurados en capas para crear una red neuronal artificial que puede aprender y tomar decisiones inteligentes por sí sola (Grilli, Özdemir y Remondino 2019), sin la necesidad de información contextual inicial.

Dentro de estos métodos se pueden diferenciar varios tipos de enfoques en función de los algoritmos empleados para realizar el aprendizaje automático. El enfoque supervisado emplea un conjunto de datos previamente anotados que se utilizan para entrenar al modelo y proporcionar una clasificación semántica de todo el conjunto. Uno de los algoritmos más utilizados es Random Forest. Un enfoque no supervisado segmenta automáticamente el modelo según unos parámetros establecidos por el usuario sin la necesidad de realizar anotaciones previas, agrupando objetos homogéneos en clústeres según características predefinidas, como el empleado por el algoritmo K-means. La utilización de los métodos descritos en el ámbito del patrimonio histórico supone un reto, cada edificio es único, compuesto por elementos irregulares, difíciles de estandarizar, parametrizar y segmentar. Estas barreras morfológicas se benefician de métodos como Machine Learning para acelerar la segmentación y la clasificación, reduciendo tiempos de clasificación, favoreciendo la replicabilidad del entrenamiento en edificios de características similares o la visualización de los resultados sobre el modelo 3D.

— 3. Definición de clases

Una vez realizado el proceso de segmentación, el siguiente paso es la clasificación de las diferentes partes en que se ha dividido el modelo 3D, bajo una estructura jerárquica semántica. Previamente a la segmentación se debe desarrollar una ontología adaptada a la tipología de edificio a representar para que sea lo más específica posible y permita la clasificación pormenorizada de todos los niveles de detalle que se establezcan para la representación de la entidad.

La clasificación consiste en los siguientes pasos: definición de una ontología, asignación de clases, cálculo de características, entrenamiento de modelos y predicción. El proceso de definición de clases comienza asignando un valor para la etiqueta que clasifica el objeto segmentado previamente. En los métodos que usan Machine Learning, durante la fase de entrenamiento, el algoritmo aprende de estos nodos de decisión y los conecta a una ontología previamente diseñada. Mediante la corrección y repetición se consigue el aprendizaje y una correcta clasificación [Figura 5].

El objetivo final es obtener un modelo segmentado y rico en clases y propiedades que permita capturar cada grado de granularidad requerido para la descripción de modelos 3D, para su posterior enriquecimiento con anotaciones y obtener así un repositorio completo que permita realizar consultas y gestionar información de forma organizada (Quattrini, Pierdica y Morbidoni 2017).

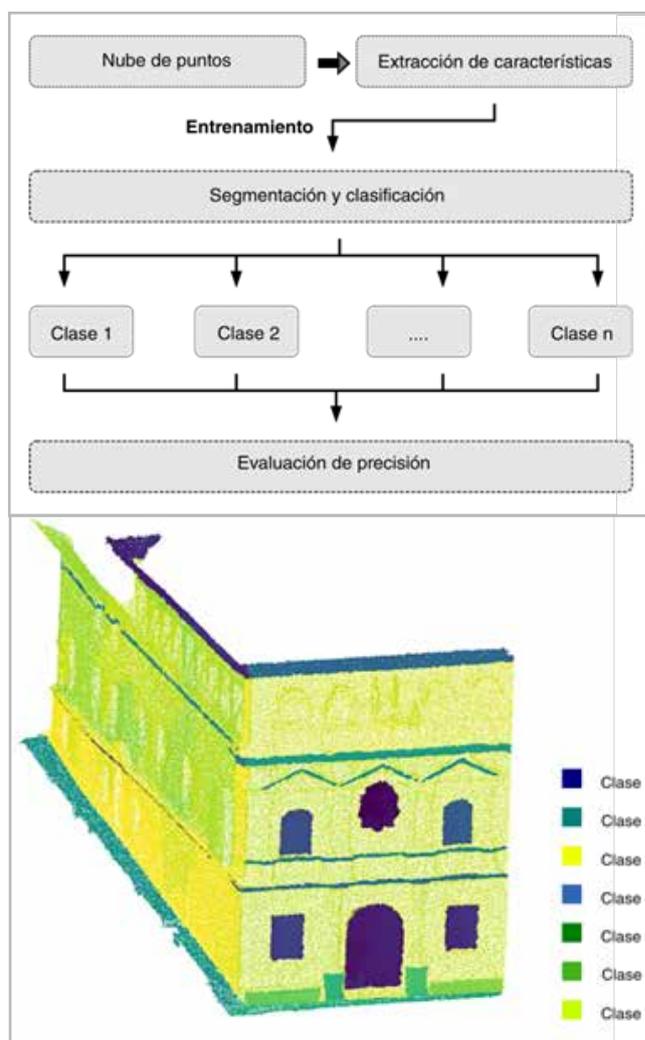


Figura 5.- Flujo de trabajo del proceso de segmentación y clasificación de la nube de puntos mediante metodología de aprendizaje automático. Ejemplo de la fachada del Ayuntamiento de Alcañiz (Teruel), en el que la nube de puntos se ha dividido y clasificado en distintos componentes arquitectónicos. Fuente: Elaboración propia.

— Anotación

Para que el modelo 3D sea una herramienta efectiva para el estudio de los diferentes actores que intervienen en el patrimonio, como arquitectos, arqueólogos, historiadores, ingenieros o conservadores, debe ser capaz de almacenar distintos tipos de información variada en múltiples formatos. Para poder cumplir este objetivo, es necesario enlazar la información entre el modelo geométrico y la información complementaria asociada a él, para a continuación poder ser analizada. El término técnico para definir esta acción es denominado anotación, y se refiere al proceso de relacionar una parte del modelo geométrico 3D a cierta información relacionada (Ponchio *et al.* 2019). Para ello, el procedimiento conlleva una doble acción: la selección de una ubicación – región sobre la superficie del modelo 3D y la definición de un vínculo entre el elemento espacial y los datos estructurados o no estructurados.

Se pueden distinguir dos conceptos de anotación:

- Segmentación semántica: El modelo 3D, previamente al proceso de anotación, ha sido segmentado y dividido mediante una jerarquía estructural en sub-partes, a las que se enlazan los correspondientes metadatos, por ejemplo, identificación, material o función.
- Caracterización dirigida por el usuario: cada región anotada es seleccionada por criterios e interpretaciones establecidos por el usuario y está vinculada a algún tipo de información complementaria. Por ejemplo, una región afectada por humedades o un daño sobre la superficie del edificio.

Durante el proceso de investigación y análisis del patrimonio arquitectónico, se generan grandes cantidades de información y documentación heterogénea. Para organizar la información jerárquicamente, se utiliza la anotación para convertir el marco sintáctico en la estructuración del conocimiento. Se pueden distinguir cuatro niveles de enriquecimiento semántico en función de su complejidad (Andrews, Zaihrayev y Pane 2012): etiquetas, atributos, relaciones y ontología. Las etiquetas representan la forma más sencilla de anotación, mientras las ontologías representan la más compleja.

En ocasiones debido al lenguaje empleado por el usuario al establecer las anotaciones, se pueden identificar problemas de polisemia, sinónimos, falta de especificidad o variaciones en la forma base. La solución a esta cuestión puede ser abordada mediante la utilización de un Sistema de Organización del Conocimiento, como un glosario, taxonomía, tesoro o base de datos léxica como las descritas en apartados anteriores.

Una de las fases principales en el proceso de implementación de anotaciones sobre el modelo 3D, es la de seleccionar el elemento geométrico al que vincular la información. Una anotación se puede asociar a diferentes geometrías para caracterizar sub-conjuntos del objeto de interés. El punto se utiliza para enlazar una anotación a una única posición puntual del modelo 3D, mientras que una polilínea sobre la superficie identifica estructuras lineales. Mediante la definición de áreas irregulares sobre una superficie, se asocia una anotación a una región.

Existen distintos enfoques respecto a la implementación de las anotaciones, debido a las diferentes tipologías de entrada

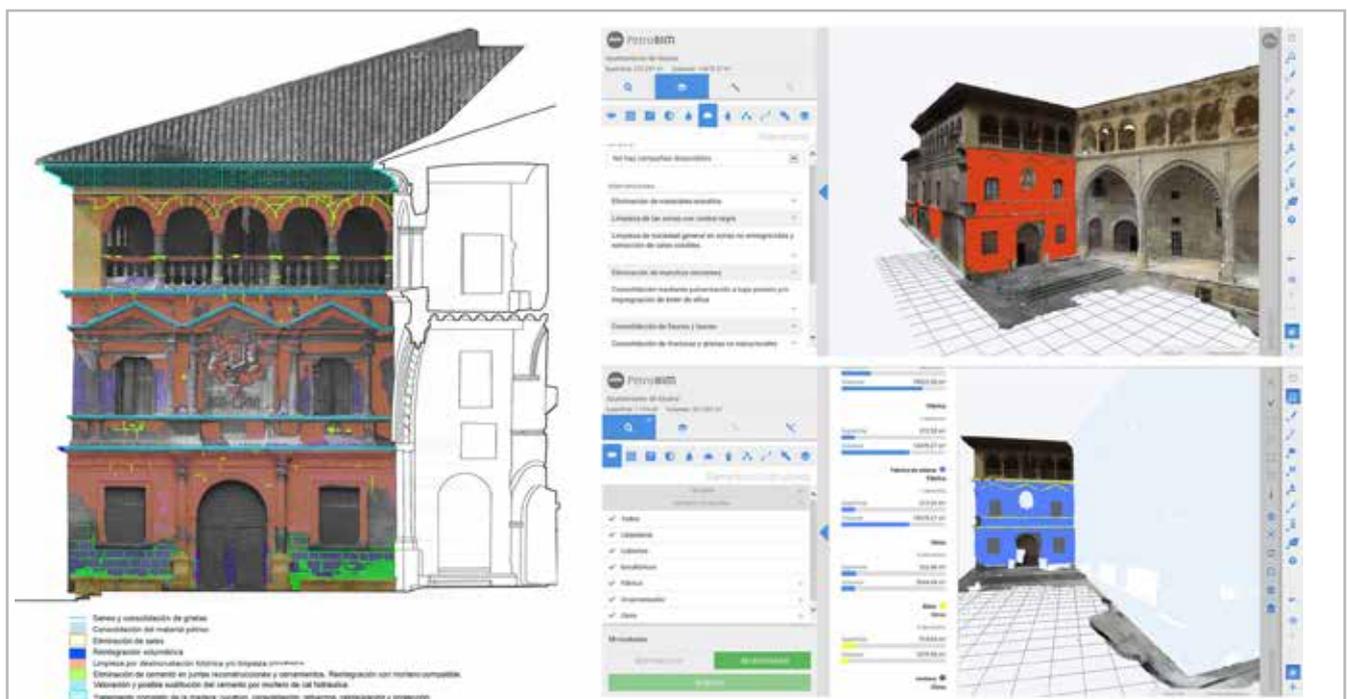


Figura 5.- Inserción de información relativa al estado de conservación de la fachada del Ayuntamiento de Alcañiz (Teruel) en el modelo 3D mediante el proceso de anotación de la nube de puntos, tras haber realizado un proceso de segmentación previo. Fuente: Elaboración propia.

y estructuras de datos (Ponchio *et al.* 2019). En función del tipo de soporte usado como medio de anotación se pueden distinguir la siguiente clasificación:

- Anotación sobre superficies 2D: La anotación se realiza sobre representaciones bidimensionales.
- Anotación sobre superficies 3D: El usuario realiza las anotaciones directamente sobre el modelo 3D.
- Híbrido 2D-3D: Las anotaciones se dibujan en medios bidimensionales, que se proyectan al modelo 3D.

También se puede clasificar en función del grado de automatización, siendo manual, semi-automático o automático. El método más extendido es la anotación manual, ya que permite un mayor control por parte del usuario, sin embargo, las últimas investigaciones están encaminadas a fomentar la anotación automática, ya que el proceso manual adolece del consumo de tiempo y de la dependencia y habilidades del usuario (Croce *et al.* 2020).

La utilización del proceso de anotación como medio de inclusión de información complementaria al modelo 3D, ofrece numerosas ventajas para la documentación del patrimonio arquitectónico [Figura 6]. Una de las principales características es la gestión de múltiples capas temáticas de información sobre el modelo, que se superponen propiciando la organización y la no duplicidad de datos. A su vez, se posibilita la representación de diferentes estados temporales bajo un mismo modelo, el análisis cruzado de información y una organización semántica basada en el uso de ontologías como mecanismo de gestión de la información de manera unívoca.

Conclusiones

La propuesta metodológica presentada, propone definir unas pautas generales para realizar la captura y el procesado de la información generada con el fin de desarrollar una base de datos gráfica para representar a través de un modelo 3D la información relativa al patrimonio arquitectónico.

Una vez finalizada la captura y procesado del modelo, el siguiente paso para realizar el inventario del patrimonio es introducir el modelo 3D en un Sistema de Información Integral, capaz de administrar el conocimiento, la integración de materiales disponibles, así como el procesamiento y análisis de dichos materiales bajo un soporte común. Aunque la edición del modelo digital superficial como método general para optimizar la transmisión de la información resulta escasa, en la línea de investigación de los autores se está trabajando con modelos sólidos en BIM (Building Information Modeling), en concreto HBIM (Heritage/Historic Building Information Models), pero resulta costoso por no haber un traslado automático o semiautomático, para edificios con geometrías complejas. Por lo que la malla texturizada proveniente de nube de puntos proporciona un modelo fiable, que enriquecido con los datos y la segmentación aporta un avance considerable. La finalidad es servir de

apoyo a la toma de decisiones relacionadas con el modelo y simultáneamente, servir a múltiples propósitos de la catalogación, como la protección, restauración, conservación, planeamiento o educación.

Desde un punto de vista crítico, la propuesta expuesta para generar una base de datos de edificios de valor patrimonial, propone un cambio del punto de vista de las bases tradicionales, asignando los datos a la geometría del edificio, lo que supone un cambio de paradigma, puesto que representa los datos sobre el edificio virtual. Esta incorporación todavía presenta problemas de índole tecnológico, de accesibilidad o de interoperabilidad, pero presenta la gran ventaja de que los datos permanecerán en el tiempo y se irá mejorando el soporte tridimensional, enriqueciendo sus funciones.

La difusión del Patrimonio en las últimas décadas ha ido ligado al desarrollo de las herramientas informáticas utilizadas por los investigadores para la visualización y gestión de la información, influyendo en la metodología de trabajo. Las técnicas de adquisición han influido en el flujo de trabajo que ha de realizarse para llevar a cabo los levantamientos. Estos cambios implican a su vez una evolución en los productos obtenidos como resultado de la captura, ya que deben administrar gran cantidad de datos que deben mostrarse de un modo eficaz, rápido, preciso y sin pérdida de información. Por ello, cuando se trabaja con grandes volúmenes de información, es primordial crear una estructura capaz de mostrar los datos de un modo organizado y accesible para consulta. Los Sistemas de documentación han ido evolucionando hacia tecnologías desarrolladas con software de código abierto, el uso de estándares, ontologías y la estructuración de la información y del propio modelo 3D bajo una jerarquía semántica. De este modo se favorece la interoperabilidad entre bases de datos y se asegura el mantenimiento de las aplicaciones a largo plazo, sin grandes inversiones y asegurando la accesibilidad de distintos tipos de usuarios.

Agradecimientos

Deseamos agradecer a los compañeros Angélica Fernández y Miguel Sancho pertenecientes al grupo GIA (Grupo de Investigación en Arquitectura) de la Universidad de Zaragoza, por su labor durante el proceso de toma de datos y elaboración de los modelos.

Referencias

- ALONSO, J. A., GARCÍA-ALSINA, M., LLOVERAS, M. R. (2007). "La norma ISO 15489: un marco sistemático de buenas prácticas de gestión documental en las organizaciones". *Revista de Biblioteconomía i Documentació*, 47: 41–70. <http://eprints.rclis.org/12263/>
- ANDREWS, P., ZAIHAYEU, I., PANE, J. (2012). "A classification of semantic annotation systems". *Semantic Web*, 3(3): 223–248. <https://doi.org/10.3233/SW-2011-0056>

APOLLONIO, F. I., BENEDETTI, B., GAIANI, M., BALDISSINI, S. (2011). "Construction, Management and Visualization of 3D Models of Large Archeological and Architectural Sites for E-Heritage GIS Systems". In *XXIIIrd International CIPA Symposium*, September 12 - 16, 2011. Prague, Czech Republic. <http://amsacta.unibo.it/3141/>

CACCIOTTI, R., VALACH, J., KUNES, P., ČERŇANSKÝ, M., BLÁŠKO, M., KRĚMEN, P. (2013). "Monument damage information system (MONDIS): an ontological approach to cultural heritage documentation". *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, II-5/W1, 55-60. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W1-55-2013>

CERUTTI, E., NOARDO, F., SPANÒ, A. (2015). "Architectural heritage semantic data managing and sharing in GIS". *GISTAM 2015 - 1st International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management, Proceedings*. Barcelona: SciTePress, 121-128. <http://doi.org/10.5220/0005387801210128>

CROCE, V., CAROTI, G., DE LUCA, L., PIEMONTE, A., VÉRON, P. (2020). "Semantic annotations on heritage models: 2D/3D approaches and future research challenges". *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B2-2, 829-836. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-829-2020>

DOERR, M. (2009). "Ontologies for cultural heritage". En *Handbook on Ontologies*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 463-486. https://doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3_21

GRILLI, E., REMONDINO, F. (2019). "Classification of 3D Digital Heritage". *Remote Sensing*, 11(7): 847. <https://doi.org/10.3390/rs11070847>

GRILLI, E., ÖZDEMİR, E., REMONDINO, F. (2019). "Application of machine and deep learning strategies for the classification of heritage point clouds". *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W18: 447-454. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-447-2019>

GUIZZARDI, G. (2010). "On the Representation of Quantities and their Parts in Conceptual Modeling". *Proceedings of the 2010 conference on Formal Ontology in Information Systems: Proceedings of the Sixth International Conference (FOIS 2010)*. NLD: IOS Press, 103-116. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1804715.1804728>

LAURINI, R. (2012). "Importance of spatial relationships for geographic ontologies". *Seventh International Conference on Informatics and Urban and Regional Planning INPUT 2012*, May 2012, Cagliari, Italy, 122-134. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01353047>

LAURINI, R. (2015). "Geographic Ontologies, Gazetteers and Multilingualism". *Future Internet*, 7(1): 1-23. <https://doi.org/10.3390/fi7010001>

MALINVERNI, E. S., PIERDICCA, R., PAOLANTI, M., MARTINI, M., MORBIDONI, C., MATRONE, F., LINGUA, A. (2019). "Deep learning for semantic segmentation of 3D point cloud". *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W15, 735-742. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-735-2019>

NOARDO, F. (2016). *Spatial ontologies for Architectural Heritage*. Doctoral dissertation, PhD thesis. Politecnico di Torino, tutors A. Spanò, A. Lingua.

OGC - OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM (2012). *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*. Editors: Gröger G., Kolbe T.H., Nagel C., Häfele K.H. <http://www.opengis.net/spec/citygml/2.0>

PONCHIO, F., CALLIERI, M., DELLEPIANE, M., SCOPIGNO, R. (2019). "Effective Annotations Over 3D Models". *Computer Graphics Forum*, 39: 89-105. <https://doi.org/10.1111/cgf.13664>

QUATTRINI, R., PIERDICCA, R., MORBIDONI, C. (2017). "Knowledge-based data enrichment for HBIM: Exploring high-quality models using the semantic-web". *Journal of Cultural Heritage*, 28: 129-139. <https://doi.org/10.1016/J.CULHER.2017.05.004>

SNAVELY, N., SEITZ, S. M., SZELISKI, R. (2006). "Photo tourism: exploring photo collections in 3D". *ACM transactions on graphics*, 25(3): 835-846. <https://doi.org/10.1145/1141911.1141964>

Autor/es



Marta Quintilla Castán

mquintilla@unizar.es

Escuela de Arquitectura e Ingeniería (EINA),
Universidad de Zaragoza (UZ)

<https://orcid.org/0000-0002-2308-752X>

Arquitecta, profesora asociada del Área de Expresión Gráfica Arquitectónica de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza. Su actividad profesional enfocada en el ámbito de la edificación ha sido premiada y publicada en numerosos libros y revistas de arquitectura tanto nacionales como internacionales. Compatibiliza la labor profesional con la investigación orientada a la aplicación de los nuevos medios informáticos para la restitución y difusión del patrimonio arquitectónico. Actualmente se encuentra desarrollando el Doctorado en el Programa "Nuevos Territorios de la Arquitectura" de la Universidad de Zaragoza, con el tema "Inventario Gráfico digital del Patrimonio Arquitectónico".



Luis Agustín Hernández

lagustin@unizar.es

Escuela de Arquitectura e Ingeniería (EINA),
Universidad de Zaragoza (UZ)

<https://orcid.org/0000-0002-0397-9766>

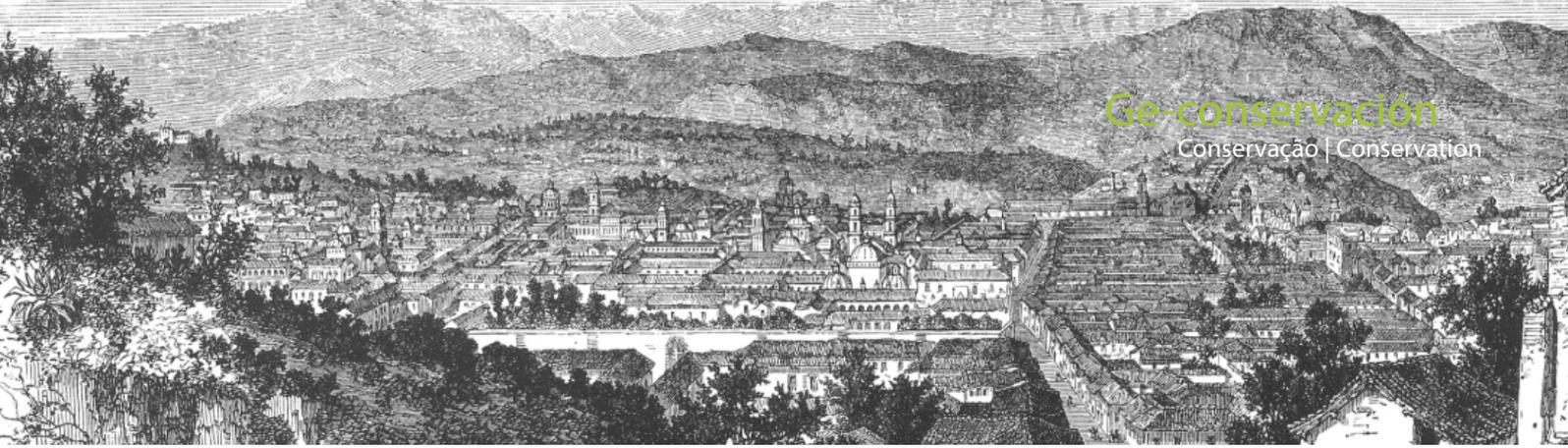
Arquitecto, profesor titular de Escuela Universitaria, responsable del Área de Expresión Gráfica Arquitectónica y Director del Departamento de Arquitectura de la Escuela de Arquitectura e Ingeniería de la Universidad de Zaragoza. Miembro del grupo de investigación GIA, Grupo de Investigación en Arquitectura, línea GRAPH (Representación en arquitectura y patrimonio histórico). Miembro del Instituto de Patrimonio y Humanidades

de la Universidad de Zaragoza. Realiza trabajo de investigación en dos líneas complementarias, con artículos en revistas indexadas, comunicaciones en congresos, exposiciones internacionales y conferencias internacionales: Estudio de la arquitectura patrimonial trabajos desarrollados en arquitectura gótico mediterránea en la Corona de Aragón, estudios sobre arquitectura Mudéjar y arquitectura contemporánea. Tecnología de la representación arquitectónica, BIM, Fotogrametría, Escáner Laser, realidad virtual y fotorrealística.

Artículo enviado el 14/09/2021
Artículo aceptado el 17/01/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1048>



Torre de la iglesia de la Compañía de Jesús de Quito: historia, proporciones y medidas

Inés del Pino Martínez, M. Lenin Lara Calderón

Resumen: Las torres de las iglesias de Quito sufrieron daños significativos con los terremotos de 1797, 1859 y 1868, en particular la de la iglesia de la Compañía de Jesús, que según los escritos de viajeros y científicos fue la más alta y bella de la ciudad. Con el último evento fue parcialmente demolida hasta los 23,40 metros. La revisión de fuentes históricas y planos arquitectónicos realizados entre 1992 y 2019 por varias instituciones llevó a estudiar las proporciones de la fachada en relación con la torre para analizar, con métodos precisos, la altura que debió tener antes del terremoto de 1868. Los resultados de este análisis histórico, gráfico y geométrico establecen que la altura de la torre fue de 41,60 metros; existe correspondencia de proporciones y medidas entre la fachada, la iglesia, y la torre; ésta última representa la repetición de 5,5 veces el módulo base identificado en el estudio.

Palabras clave: arquitectura religiosa latinoamericana, Quito, iglesia de la Compañía de Jesús, torre, terremoto, geometría

Tower of Jesuitic Church in Quito: history, proportions and measurements

Abstract: The towers of the churches of Quito suffered significant damage from the earthquakes of 1797, 1859, and 1868, particularly that of the Compañía de Jesús church, which according to the writings of travelers and scientists was the tallest and beautiful in the city. With the last event it was partially demolished to 23.40 meters. The review of historical descriptions and architectural plans made between 1992 and 2019 by various institutions led to the study of the proportions of the façade in the relationship to the tower to analyze with precise methods, the height it must have had before the 1868 earthquake. The results of the historical, graphic, and geometric analysis established that the height of the tower was 41.60 meters; there is correspondence of proportions and measures between the facade, the church, and the tower, the tower represents 5.5 times the base module identified in the study.

Keywords: Latin American religious architecture, Quito, Jesuit church, tower, earthquake, geometry

Torre da igreja da Companhia de Jesús de Quito: história, proporções e medidas

Resumo: As torres das igrejas de Quito sofreram danos significativos com os terremotos de 1797, 1859 e 1868, em particular a da igreja da Companhia de Jesus, que segundo os escritos de viajantes e cientistas foi a mais alta e bela da cidade. Com o último evento foi parcialmente demolida até aos 23,40 metros. A revisão de fontes históricas e planos arquitetónicos realizados entre 1992 e 2019 por várias instituições levou a estudar as proporções da fachada em relação à torre para analisar, com métodos precisos, a altura que deveria ter tido antes do terremoto de 1868. Os resultados desta análise histórica, gráfica e geométrica estabelecem que a altura da torre foi de 41,60 metros; existe correspondência de proporções e medidas entre a fachada, a igreja, e a torre; esta última representa a repetição de 5,5 vezes o módulo base identificado no estudo.

Palavras-chave: arquitetura religiosa latino-americana, Quito, igreja da Companhia de Jesus, torre, terremoto, geometria

Introducción

Un ejemplo relevante de arquitectura barroca en Latinoamérica es la iglesia de la Compañía de Jesús de Quito por la calidad del arte y la solidez de su arquitectura. El edificio, compuesto por la iglesia, la universidad, el colegio y espacios domésticos, se construyó en un periodo de 160 años: entre 1605 y 1765. Con la expulsión de los jesuitas en 1767, los espacios se abrieron por temporadas cortas, mientras pasaron a cargo de comunidades religiosas o de entidades civiles. A su retorno en 1851 la organización encontró sus edificios deteriorados, no solo por la falta de mantenimiento sino por el efecto de terremotos, en particular el de 1797 y el sismo de 1859, éste último cuarteó la torre, y aunque tuvo una reparación inmediata; apenas restablecida, se volvió a cuartear con el terremoto de 1868, razón por la que se ordenó derribarla a la mitad de su altura.

El estudio del impacto de los terremotos en la arquitectura colonial de Quito demuestra que los elementos arquitectónicos más afectados fueron las torres (Del Pino 1990: 67-100). El periodo entre 1859 y 1868 se lo podría denominar “entre dos terremotos” por las complejas circunstancias de orden político y técnico que rodea a un ciclo de destrucción, reconstrucción, cuarteamiento y demolición parcial de la torre más alta de la ciudad. Las particularidades de orden político que coinciden en este tiempo son: acciones del presidente Gabriel García Moreno, quien posibilitó el retorno de los jesuitas y el establecimiento de una reforma educativa con el apoyo de científicos alemanes en favor de la formación técnica, todo esto impacta en la manera de percibir el nuevo orden republicano. Las particularidades de orden técnico se relacionan con los esfuerzos de los jesuitas retornados por reconstruir su edificio, restituir la torre, y recuperar sus bienes, y por otra parte, la voluntad política del propio García Moreno quien hizo tomar las medidas para reconstruirla “en su estado anterior” a expensas de su propio peculio (Jouanen S.J. 2003: 1-39).

Los terremotos de 1859 y 1868 sumaron nuevos daños estructurales en los muros de los edificios, los que no siempre fueron reparados de inmediato por razones económicas, o descuido de las autoridades de turno; ante la emergencia, los fondos disponibles se utilizaron en arreglos indispensables para mantener en pie las mamposterías o demoler lo que quedó en pie. Por esta razón, la secuencia de fotografías, dibujos y descripciones de la época exteriorizan torres distintas en menos de un siglo.

La adaptación a la naturaleza geológica de Quito llevó consigo el acomodo de las edificaciones y a tomar decisiones sobre la composición volumétrica, es decir, dimensión modesta y materialidad adecuada para que la fábrica soporte nuevos embates de la naturaleza, destacando en las fachadas de las iglesias las portadas talladas en piedra, interiores decorados con pinturas y relieves, superficies de madera policromada y dorada; mientras tanto, el interior de los claustros es austero, allí, el valor de la arquitectura está expresado en el espacio. El carácter concedido a Quito de “gran convento”, atribuida a Simón Bolívar, tiene relación con la cantidad y calidad de edificios construidos durante la colonia, en donde en apenas 54 hectáreas se concentró la representatividad de la iglesia católica mediante 17 iglesias, obras monumentales en la que constructores y arquitectos sugirieron un orden clásico y barroco, pensado y ajustado a las circunstancias topográficas andinas en la escala de un damero más o menos regular.

Las iglesias coloniales de Quito tienen una o dos torres que son elementos arquitectónicos verticales presentes en la fachada; están construidas en ladrillo; destacan en el paisaje para convertirse en hitos urbanos de orientación e identificación de cada orden religiosa e iglesia en la ciudad; en conjunto, delinean el perfil urbano [Figura 1]; la torre evidencia el poder de la iglesia; el sonido de las campanas marcó el tiempo en los habitantes de Quito,

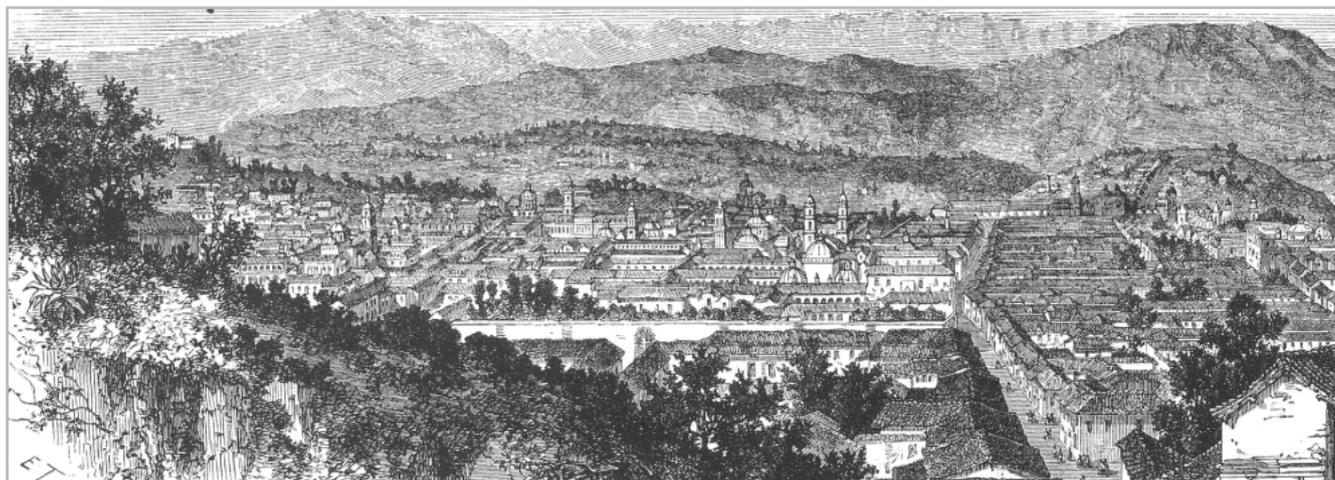


Figura 1. - Vista general de Quito. Dessin E. Therond d'après M. Ernest Charton. En *Le Tour du Monde*, 1867: 407

es decir, la cotidianidad: la hora de la misa, la muerte de alguien, la alerta pública, e inclusive, la convocatoria a la revuelta y la protesta social.

La fundación española de Quito en 1534 se produjo en un espacio de difícil acceso, asentada al pie del volcán Pichincha, entre tres colinas y atravesada por tres quebradas profundas que cortaban la ciudad de oeste a este. El 8 de enero de 1610 el cabildo ordenó la construcción de varios puentes en la ciudad, el mismo año se rellenó la quebrada que pasaba junto a la Catedral, lo que sugiere un programa de consolidación y expansión urbana (Herrera 1916: 73). Sin embargo, el plano de Quito de Gualberto Pérez de 1888 revela que el relleno se redujo a los cruces de las calles principales para evitar hacer puentes, mientras que al interior de los predios las quebradas estaban abiertas.

Los documentos del cabildo dan cuenta que construir un puente era una obra costosa, que se financiaba con mingas de indios y mestizos, a veces obligados; y aportes económicos de la gente pudiente de la ciudad a cambio de poner su nombre o recibir favores acordados con los donantes^[1]. El puente formaba parte de la historia cotidiana y era necesario para la expansión de la ciudad; aunque la relación entre barrios no cambió significativamente. De las tres quebradas que cruzaron la ciudad de oeste a este con diferentes nombres según sus tramos, la de Zanguña atraviesa el predio jesuita y la iglesia de El Sagrario. La cercanía de las edificaciones religiosas y casas particulares a las quebradas provocó la presencia de humedades, el hundimiento de algunas y contribuyó al deterioro de las edificaciones, todo esto unido al efecto de los sismos y erupciones.

Otro aspecto que precede al análisis de la proporción y altura de la torre de la iglesia de la Compañía de Jesús de Quito es la transformación reiterada de otras torres a causa de los terremotos, sismos y erupciones, lo que lleva a confirmar que la transformación de la torre de La Compañía no es la única y las que hoy estamos habituados a mirar no son las originales, sino que algunas corresponden a la segunda o tercera reconstrucción realizada hasta el siglo XX.

Instrumentos del análisis

En este apartado, el análisis cualitativo se centra en el proceso de la construcción del edificio y su relación con los terremotos. Para José Gabriel Navarro, Diego Santander y José Luis Micó S.J. (Ortiz 2008: 323), la Compañía de Jesús se construyó en tres etapas, que al ser confrontadas con el proceso constructivo mencionado por José Jouanen S.J., confirman que la primera etapa va de 1606 a 1636, en la que la iglesia y la torre se construyeron en el patio contiguo a la iglesia actual, es decir se trata de un edificio que hoy se desconoce. Según los autores, la primera torre tuvo siete metros, estuvo probablemente en el mismo lugar y la iglesia estaba concluida y habilitada para la liturgia católica.

La segunda fase, entre 1636 y 1689, arranca con la llegada de Marcos Guerra S.J., quien implantó el sistema de bóvedas de ladrillo para cubrir la iglesia y cerrar la quebrada de Zanguña, que atravesaba por la mitad del predio; en este periodo se puede inferir que las erupciones del volcán Pichincha, del 27 de octubre y del 3 de noviembre de 1660, debieron causar algún daño sobre la construcción en proceso, sobre todo la del 27 de octubre, en que la caída de ceniza oscureció la ciudad y se sintieron varios sismos. Los testimonios referidos a daños ocurridos en La Compañía son escasos, y en la ciudad, el más relevante corresponde a la descripción que se encuentra en la fachada de la iglesia de San Agustín, sobre el arco de ingreso, labrada en la piedra. Sobre La Compañía no hay una descripción específica y lo más probable es que cualquier daño fue corregido en el mismo proceso de la obra.

La carta Anua (1642 – 1652) señala que la iglesia estaba terminada y también la torre. Según el investigador Alfonso Ortiz, no fueron dos iglesias sino la misma que hoy conocemos; a su llegada, Marcos Guerra cambió el artesonado de madera por una bóveda de cañón corrido con arcos de refuerzos en su recorrido. Sobre la torre el documento señala “Acabose también la torre ... de cincuenta y cinco varas de alto [46,20 m], obra tan fuerte que sin la lesión que han padecido menores edificios ha podido resistir algunos temblores grandes”^[2]. Queda la pregunta de si lo hizo por renovar la cubierta de la iglesia o a causa de daños similares a los encontrados en otros edificios. Según estimaciones del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, la capa de ceniza que cubrió la ciudad fue de 30 cm. aproximadamente, con un peso significativo como para que los techos de madera y teja cedan; con esta erupción la torre debió sufrir en menor grado por su tamaño e inclinación de la cubierta, pero no es posible comprobarlo. El cambio de techo de artesón a bóveda demanda una serie de ajustes en la estructura existente que por el momento no es evidente; no obstante, los arcos fajones de la bóveda están localizados en promedio de 7,24 m. que es posible en la modulación de un artesonado. Un análisis in situ confirmaría posibles alteraciones constructivas, así como los vestigios de cimientos de una primera iglesia. Otra pregunta por resolver es por qué la Compañía es la única iglesia en Quito con una torre detrás de la fachada principal y exenta del templo.

La tercera fase, entre 1689 a 1765, comprende la terminación de la fachada de piedra de la iglesia, entre 1723 y 1765. La iglesia, claustros del colegio y universidad debieron sufrir algún daño entre 1751 y 1755 en que se registran dos terremotos en Quito. A manera de comparación, el terremoto de 1751 tuvo una intensidad de VII MSK, el convento de Santo Domingo sufrió daños en la iglesia y la caída de una campana; por testimonio de Bernardo Recio, la catedral quedó inservible, razón por la que posteriormente fue reforzada con barras de hierro y la torre zunchada con cadenas. Otro dato que da cuenta de la magnitud de este evento es el levantamiento de la

clausura de seis conventos para que los religiosos puedan socorrer y transportar a heridos y muertos, y acompañar a moribundos (Recio S.J. 1947: 382).

La intensidad del terremoto de 1755 está estimada en VIII MSK, es conocido como el “terremoto de Quito” dado que su origen fue la activación de la falla geológica de Quito y esta ciudad fue la más afectada con una destrucción generalizada, tanto en construcciones civiles de tierra cruda y basamentos de piedra, como en templos religiosos construidos en ladrillo y piedra. En este evento, varias torres, entre ellas la de la Compañía (Del Pino 1990: 80-81) proporciona testimonios como el del padre Recio, quien señala que la bóveda de su aposento soportó el terremoto por haber sido “fortificada con barras de hierro desde el pasado terremoto”, es decir, en 1751 (Recio S.J. 1947: 385), lo que da a conocer el tipo de soluciones adoptadas en ese entonces.

Al regreso de los jesuitas en 1850, la organización comenzó el proceso de arreglo de la iglesia y recuperación de sus bienes. En 1852 fueron expulsados nuevamente hasta 1862, en que se establecieron definitivamente en Quito. Los mayores daños de la iglesia fueron la humedad y excavaciones clandestinas en los muros exteriores. En este proceso sobrevino un terremoto en 1859 que agravó los daños ya existentes por la falta de mantenimiento. Según Jouanen, cuando el arzobispo de Quito hizo la entrega de los bienes de la iglesia y los claustros, el templo se encontraba muy deteriorado: faltaban muebles, casi todas las ventanas carecían de cristales. En el templo, las bóvedas estaban rajadas, traspasadas por el agua y la humedad, y la descripción continúa: “El artesón hundido y resquebrajado por todas partes, el pavimento desenladrillado, ...los altares vencidos y podridos por el pie” (Ortiz 2008: 203-204).

Según la misma fuente:

“La torre de las campanas, ...se halla cuarteada y despedazada: es un cuadro de paredes sin gradas para subir, un campanario sin campanas, un esqueleto que tiene figura de torre, pero sin poder servir para ese objeto ni otro alguno; es un enemigo doméstico que constantemente amenaza desplomarse sobre los edificios contiguos, incluso la universidad” (Ortiz 2008: 203-204).

La reparación de la torre de la Compañía fue inmediata, para José Gabriel Navarro la torre fue “recompuesta”, y más adelante señala que el terremoto de 1868 “la cuarteó tanto que no hubo más que deshacerla hasta la altura de su hermosa barbacana”. José Jouanen describe que “fue preciso derribarla” para que no cayera sobre los edificios colindantes.

El terremoto de Ibarra de 1868 afectó a una amplia zona del norte de Ecuador y en particular a Quito; la descripción de Joseph Kolberg señala que la mayoría de las torres

quedaron “cercenadas en una tercera parte de su medida anterior a consecuencia de los terremotos” (Kolberg 1996: 479). El 19 de abril de 1869 Thomas Reed, arquitecto de la República y un grupo de técnicos realizaron una inspección de las torres destruidas de Quito para: “tener conocimiento del estado en que se encuentren ... para dictar sus providencias a fin de precaver los males que resultarían a la población si se encontrasen ruinosas; ... disponer su demolición ... i evitar resultados perjudiciales a los habitantes” (Saldarriaga 2006: 119).

Finalmente, el Periódico Oficial de Quito del 19 de agosto de 1868 señala:

“El colegio é iglesia de la Compañía se hallan en inminente peligro, porque la torre que sobresale en medio de ellos está en riesgo de caerse. Esta torre, como las demás de Quito, se encuentran descuartizadas unas y derrumbándose otras... amenazando muerte á su alrededor, si sobreviniese otro fuerte movimiento... De paso, hay que notarse, que los templos que han sufrido más son los embovedados; prueba que esta clase de construcción no es conveniente para un país de temblores” (El Nacional (a) 1868).

En ediciones posteriores la misma fuente menciona: “De Quito se dice que, además de las cinco iglesias que se desplomaron, todas las casas han quedado en estado de ruina y que la población vive en el ejido” (El Nacional (b), 1868). Estos testimonios, junto al de la carta Annuaria antes citada, son argumentos para identificar y comparar la altura de las torres de Quito y al mismo tiempo confirmar si estos elementos arquitectónicos mantuvieron su volumetría y proporciones con relación a las iglesias a lo largo de tres siglos, pese a los terremotos.

Geometría de la torre de la Compañía

La forma y proporción de las torres de Quito es visible en dibujos, grabados y fotografías del siglo XIX, realizadas con la llegada de viajeros y científicos, luego de 1855, quienes posteriormente publicaron los resultados de su travesía por América. Para este artículo se tomarán dos ejemplos, un grabado de la revista “Le Tour du monde”, ilustrada e impresa por Edouard Charton [Figura 2], y una fotografía de autor anónimo, que presenta la torre zunchada con bandas metálicas [Figura 3].

Estas evidencias permiten clarificar algunas descripciones como la del jesuita Juan Domingo Coleti (1727-1798) quien desde el exilio recuerda: “Se alzan algunas torres, entre las cuales la más alta y fuerte es la de la Compañía, que tiene ciento ochenta brazas de altura, luego la de San Agustín, que tiene sesenta y dos; la otra de la Merced que pasa de ciento veintidós y la de la Catedral que tiene ciento cuatro”. (Jouanen S.J. 2003: 2). Mario Cicala S.J. (1718-1790) escribió: “En cuanto al campanario de la iglesia está algo



Figura 2.- Plaza y Fuente cerca de la Catedral. Dibujo E. Théron según relato de Ernest Charton. 1860. Publicado en *Le Tour du Monde*, 401.



Figura 3.- Fotografía de la plaza de San Francisco y el conjunto jesuita. del Siglo XIX (Archivo FICJ – Anónimo)

separado de ésta, es muy alto, quizás sobrepasa a las demás... tiene tanta profundidad en los cimientos cuanta es la altura desde el pavimento hasta las campanas" (Cicala 1994:180).

De acuerdo con estas descripciones, la altura de las torres podría variar significativamente según las diferentes unidades de medida del siglo XVIII:

Braza española equivale a 1,6718 metros
Braza italiana equivale a 0,99635 metros
Braza de Milán equivale a 0,6481 metros
Braza del Estado Pontificio de Bolonia 0,635 metros
Braza de Nápoles 0,54216 metros

Tabla 01: *OBREGÓN* (1856): 34-37

La braza española en el año de 1726 equivale a dos varas o a 1,6718 metros según el sistema métrico decimal. Aplicada esta medida a la versión de Coleti, la altura de la torre de la Compañía de Jesús sería de 300,92 metros; imposible de construir en ese entonces, desproporcionada en relación al edificio y al perfil urbano de la ciudad.

La aplicación de la braza romana equivalente a 0,99635 metros daría como resultado una torre de 179,34 metros de altura; y la braza napolitana, que es la más pequeña encontrada en los sistemas métricos españoles e italianos, las 180 brazas equivalen a 97,588 metros, que tampoco guarda relación con la iglesia, la ciudad, la tecnología del momento, y tampoco con las fotografías y dibujos del siglo XIX. Por la revisión de las fuentes sobre el texto de Coleti, se infiere que su libro estaba destinado a maravillar a quienes lo leían; lo que desde el punto de vista científico le trajo más de un cuestionamiento, como la mención de una muralla en Mompox, en lugar de la albarrada construida junto al río para evitar las inundaciones (Giraldo 1952).

De allí que la estimación de la carta *Annua* y el texto de Kolberg sean referentes confiables para comprender que las torres de Quito perdieron altura. En el caso de La Compañía, la altura actual es de 23,40 metros. Según la carta *Annua* de 1642-1652 la torre tuvo 55 varas, es decir, 46,20 metros, dimensión cercana a las fotografías del siglo XIX que permiten deducir una altura similar. Sin embargo, en 1742 Charles Marie de La Condamine determinó que la torre de La Merced fue la más alta de la ciudad, sin dejar escrita la medida (De La Condamine 1986 Reedición: 135).

Con la imprenta, los tratados de arquitectura viajaron de Europa a América en las valijas de religiosos y alarifes como instrumento de apoyo al momento de decidir cómo construir un edificio. El orden, la proporción y la medida eran los referentes, la geometría el instrumento indispensable para la concepción del objeto. Su uso fue limitado entre personas relacionadas con la construcción. A manera de ejemplo, un tratado de Serlio que se encuentra en la biblioteca Nacional de Bogotá tiene escrito en su interior los nombres de cuatro dueños o usuarios, de los cuales dos de ellos aparecen como constructores en Quito, el primero es Alonso de Aguilar, maestro mayor y alarife de la obra de La Catedral; el segundo es Sebastián Dávila, quien dibujó lacerías para artesonados mudéjares en San Francisco (Gutiérrez 1977: 36). En ese entonces, un mismo libro podía circular por diferentes dueños y técnicos; era un documento especializado y de acceso restringido. De hecho, el convento de San Francisco tiene varios elementos tomados de los tratados de Serlio y Vignola que al parecer fueron los de mayor difusión.

Síntesis comparativa de la geometría de la torre en relación con la iglesia.

Este antecedente permite plantear la hipótesis de que las proporciones utilizadas en los tratados sirvieron de

referencia en la gramática de la arquitectura americana y que las proporciones de la fachada podían determinar la altura de la torre de la Compañía. Para demostrar esta presunción, y sobre todo la relación geométrica y de proporción entre la fachada y la torre se compararon planos realizados en diferentes años: 1998, 2003 y 2019. En 1998 la Fundación Compañía de Jesús realizó dos estudios para conocer la altura aproximada de la torre de la iglesia para 1868. El primero fue a partir de análisis fotográfico, a cargo de Luis Subía, arquitecto de la fundación [Figura 4]; y el segundo a cargo de Inés del Pino, consultora independiente, quien utilizó el método geométrico para inferir la altura de la torre a partir de las proporciones de la iglesia [Figura 5]; para esto se utilizó el levantamiento planialtimétrico de la iglesia realizado por el Museo del Banco Central del Ecuador entre 1991 y 1992.



Figura 4.- Recreación del estado de la torre para el Siglo XVIII. Dibujo cedido por Luis Subía, 2005.

Posteriormente, en 2003 el Fondo de Salvamento de Quito (FONSAL), realizó un levantamiento de la fachada de la iglesia de la Compañía de Jesús de Quito mediante procesos fotogramétricos. El relevamiento de la información se hizo a partir de fotografía tradicional estereoscópica en 2D y a través de un procedimiento técnico se crearon imágenes en 3D que permiten visualizar relieves, rugosidades y fallas, facilitando la toma de datos sobre las superficies y reduciendo el tiempo de la producción gráfica.

En el último trimestre del 2019, mediante convenio entre la Universidad Internacional del Ecuador y el grupo de investigación de la Universidad de Sevilla (Innovación Tecnológica, Sistemas de Modelado 3D y Diagnóstico Energético en Patrimonio y Edificación) se aplicaron técnicas de fotogrametría *structure from motion* (SFM) en la iglesia y como recurso principal el levantamiento geométrico mediante un escáner láser terrestre tridimensional (TLS) que realizó una captura masiva de datos (MDCS). Esta metodología se respalda en un modelo

gráfico tridimensional que se obtiene de la toma real de medidas y geometrías del edificio histórico de manera digital no invasiva, la misma que fue registrada e integrada a una imagen 3D con base en un proyecto de modelado de información en edificios históricos (HBIM, *Historic Building Information Modelling*), una nueva concepción de información de edificaciones histórico-patrimoniales (Nieto 2021). En el caso de la iglesia la aplicación del método consiste en identificar las superficies sólidas como nubes de puntos (1497 millones de puntos) que son procesados mediante el sistema *Cyclone Register 360* de *Leica* que realiza 70 escaneos del mismo objeto. El equipo utilizado fue BLK360, HDR (alta resolución), con este primer insumo del HBIM se sistematizó de manera integrada la información del edificio histórico, con el fin de proporcionar resultados de precisión del edificio patrimonial, precisión en cuanto a detalles arquitectónicos y decorativos, participación multidisciplinar de investigadores e información detallada para futuras intervenciones.

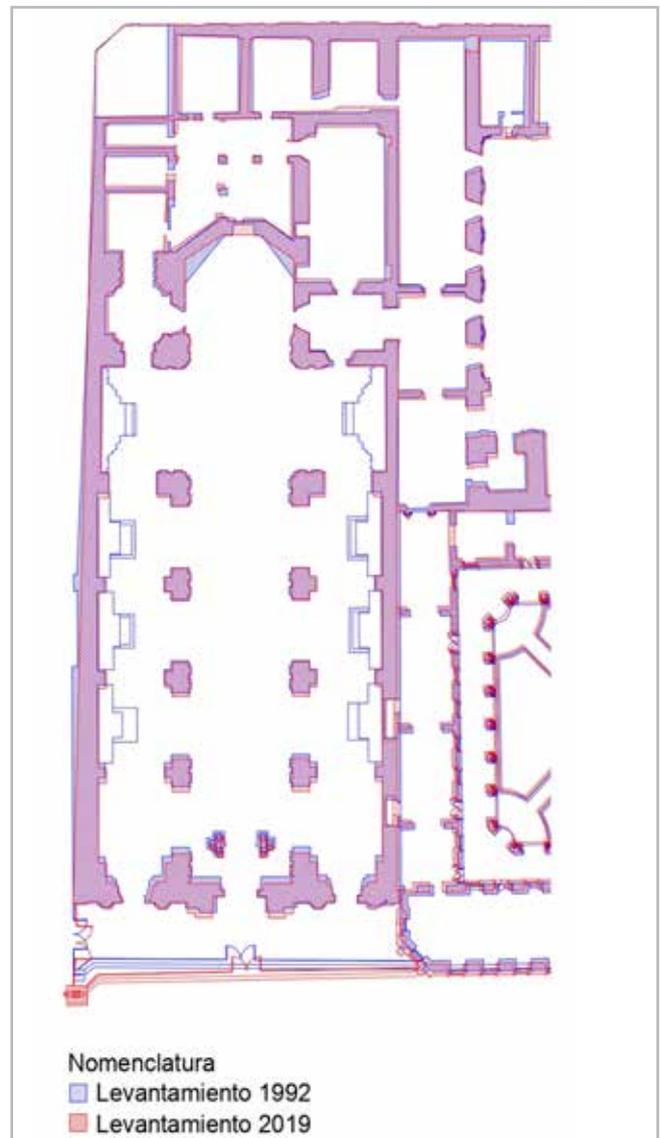


Figura 5.- Superposición de las plantas arquitectónicas de los levantamientos de 1992 y 2019 de la iglesia de la Compañía de Jesús. Elaboración propia.

Como resultado de los levantamientos realizados en 1992 y 2019 existen algunas coincidencias en la iglesia que vale destacar: la primera es que al superponer las plantas de los dos levantamientos se observan variaciones menores en dimensiones [Figura 6] que no alteran la relación de proporciones geométricas generales: la relación entre la longitud y el ancho de la iglesia es 1:2, basada en una proporción aritmética de composición clásica. Las pilastras y muros se adaptan al predio irregular dando como resultado una planta asimétrica con variaciones mínimas entre los dos levantamientos. Los dos ingresos clausurados en el muro norte del plano de 1992 fueron insertados en el escaneo del 2019.

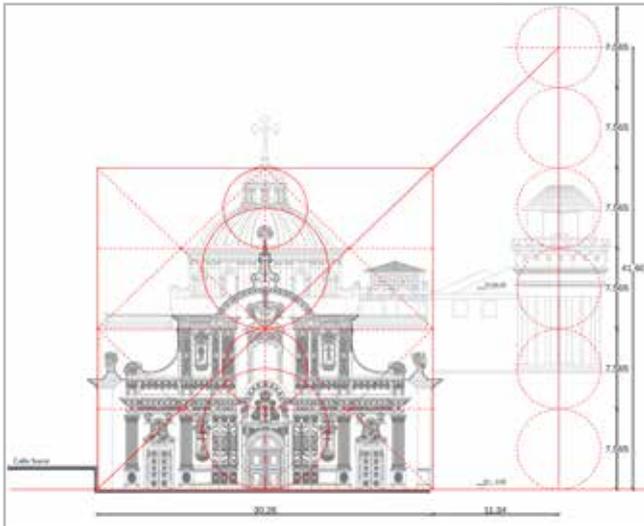


Figura 6.- Superposición de las plantas arquitectónicas de los levantamientos de 1992 y 2019 de la iglesia de la Compañía de Jesús. Elaboración propia.

La segunda coincidencia fue comprobar que la fachada, cúpula y cupulín de la iglesia se inscriben en un cuadrado de 30,26m. por lado [Figura 6]. La medida fue tomada en 2019 a ras del suelo -nivel 0,00 del ingreso-, mientras que el levantamiento de 1992 tomó el dato a la altura de 1,20 m. desde el suelo, la diferencia de medidas entre los dos levantamientos es menor al 1%. El cuadrado coincide con la clave del cupulín, sobre la cúpula mayor. En vertical, la fachada se divide en cuatro partes, cada una mide 7,56m., la primera: desde el piso hasta la cornisa del nicho de la virgen, sobre la puerta de ingreso. La segunda, hasta el arranque de la bóveda del templo. La tercera hasta la base de la cúpula mayor. La cuarta hasta la clave del cupulín. Al trazar las diagonales y los ejes de simetría del cuadrado, la intersección de líneas coincide en el corte arquitectónico con la base de la bóveda. Finalmente, al prolongar la diagonal del cuadrado, ésta se interseca con la línea del eje vertical del muro de la torre en la altura de 5,5 veces el módulo base de la fachada (7,565m), es decir que la altura de la torre habría sido de 41,60 metros desde el nivel 0.00 de la iglesia [Figura 6].

La torre del campanario forma parte de los muros del antiguo colegio, se levanta a +1,56 m con relación al ingreso de la iglesia, en un suelo de relleno. Por las variaciones topográficas,

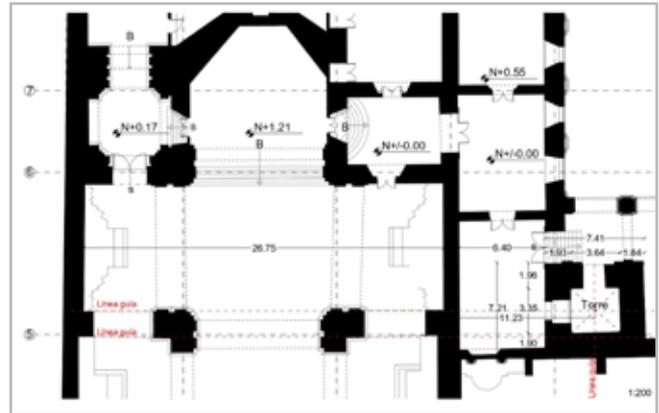


Figura 7.- Detalle de la torre insertada en la esquina del claustro y distancia con relación a la iglesia. Elaboración propia.

la altura de la torre sería de 40,04 m desde el piso del patio del claustro del colegio. Por otra parte, analizando las proporciones de la torre misma, su planta es casi un cuadrado de 7,21 x 7,41 m, dimensiones que se aproximan al módulo de 7,565m. En este sentido, la relación entre el ancho y el alto de la torre sería 1:6. Hay que observar que hasta una altura de aproximada de 10 metros la torre se halla embebida en los muros del claustro del colegio [Figura 7].

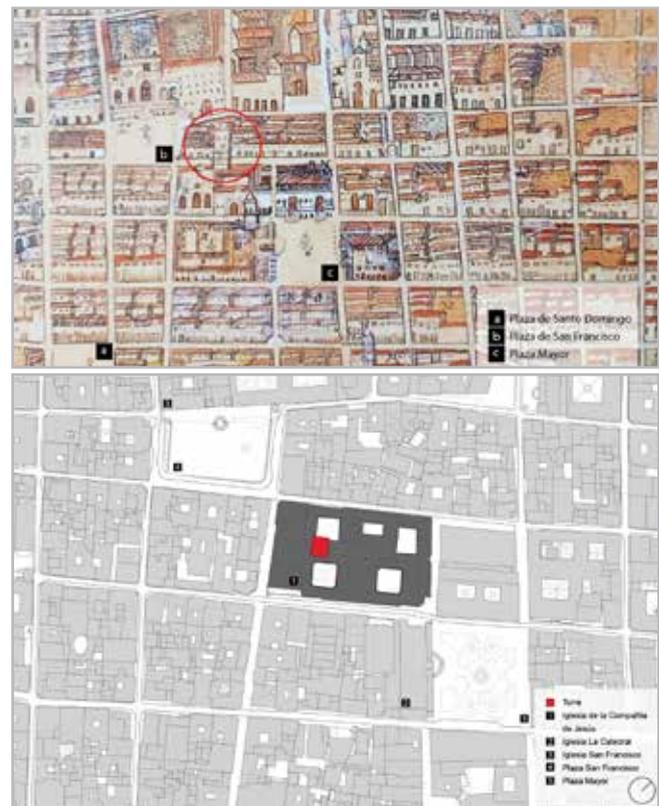


Figura 8.- La torre de la iglesia de la Compañía de Jesús en el contexto urbano de Quito. Izquierda: Detalle del plano de Quito de 1810 con la torre insertada dentro del predio y su relevancia visual desde las plazas principales de Quito: Plaza Mayor y San Francisco. Plano tridimensional, atribuido al Marqués de Selva Alegre, 1810. Sin escala. Reserva del Museo Municipal. Derecha: Detalle del plano catastral de Quito, 2020. Localización de la torre con relación al parque de la Independencia y la plaza de San Francisco. Quito, MDMQ.

La torre no se levanta junto a la fachada, sino en el interior del predio, a la altura del presbiterio de la iglesia, en el claustro del colegio, y existe una separación de 6,40 metros desde el muro norte del templo al de la torre, en sentido horizontal [Figura 7]. Esta localización impide mirarla desde el pie de la fachada por la estrechez del atrio y la calle[8], limitación que fue percibida por fotógrafos y artistas del siglo XIX, quienes, para representarla tomaron distancia del edificio, a través de varios recursos visuales: la torre alineada y en diálogo con las de otros edificios religiosos: la Catedral y San Francisco, observada desde la plaza Mayor; otra vista frecuente es desde el atrio de la plaza de San Francisco [Figura 9], el campo visual abarca las cúpulas y torre de la Compañía, la torre de La Merced y la de la iglesia de San Juan en planos distintos que evidencian la perspectiva y la complejidad topográfica de la ciudad.



Figura 9.- Plaza Mayor de Quito, grabado. Publicado en "*Relação de uma viagem a Venezuela, Nova Granada e Ecuador pelo conselheiro Lisboa*", A. Lacroix, Verboeckhoven e CIA., Bruselas, 1866. (Foto Hirtz)

Existe un grabado de Miguel María Lisboa [Figura 9], diplomático brasileño que estuvo en Quito en 1853 con una misión de su país, que fue publicado en 1866. La imagen revela la intención de caracterizar a la ciudad y el perfil urbano desde la plaza Mayor de Quito mediante una secuencia de cúpulas y torres que habrían sido visibles con anterioridad al terremoto de 1868. En este caso, la imagen no se basa en fotografías, abarca un campo de visión que destaca las torres y cúpula de la Catedral y El Sagrario; las torres de San Francisco y la Compañía de Jesús.

Otro ejemplo es la pintura de autor anónimo: "La Plaza Mayor de Quito en Lunes Santo" proveniente del repositorio de arte del Banco de la República de Colombia en Bogotá [Figura 10]. En este caso, para encuadrar el motivo el artista toma distancia, se ubica sobre los edificios de la plaza para abarcar desde un mismo punto las principales torres de la ciudad: San Francisco con dos torres de dos cuerpos, la torre de la Compañía de Jesús, la torre de la Catedral; las cúpulas de la Catedral y El Sagrario. En el fondo destacan otras torres imaginadas; el conjunto sugiere el carácter de una ciudad señorial, una cantidad representativa de edificios religiosos y una sociedad que celebra uno de los rituales católicos más importantes del año: la semana Mayor.



Figura 10.- Plaza Principal de Quito en Lunes Santo, Anónimo, 1800. óleo sobre lienzo. Registro: AP5172. Dimensiones: 64,2 x 81,8 cm. Banco de la República, Colombia.

De esta manera se puede inferir que la ubicación de la torre corresponde a un programa edilicio diferente al de las demás órdenes religiosas cuyas torres forman parte de la fachada. En el caso de Quito parecería que la intención fue crear un diálogo urbano entre edificios religiosos importantes, contribuir al carácter de la ciudad desde lo alto, es decir desde las colinas aledañas, en donde las 17 torres de las iglesias estructuran el perfil urbano, la quinta fachada de una ciudad católica y señorial. La observación de las torres desde las colinas que rodean la ciudad las convierte en hitos verticales, y dependiendo del punto de vista en que se encuentre el observador, se alinean de forma diferente. Esta visión permite valorar el conjunto con puntos de equilibrios cambiantes, relaciones de poder variables.

Discusión y conclusiones

El carácter de la arquitectura colonial de Quito está dado por la monumentalidad de los edificios religiosos y la relación armónica entre éstos, la arquitectura civil y espacios públicos en la larga duración. Los terremotos, erupciones volcánicas y las dificultades topográficas han sido determinantes en el acomodo de la traza y las proporciones de los edificios, por lo que es pertinente interrelacionar estas particularidades de la ciudad para valorar la arquitectura local.

Las ampliaciones o reformas en los edificios, y la destrucción por terremotos cambiaron la altura de las torres, pero el conjunto mantiene la escala y proporción. En la actualidad, las torres poseen las siguientes alturas: la torre de Santo Domingo, 41 metros; San Agustín, 40 metros; La Catedral tiene 38,78 metros; La Merced, 34,10 metros; la torre truncada de la Compañía de Jesús, 23,40 m. Por otra parte, la reconstrucción debió esperar, a manera de ejemplo, la reconstrucción de las torres de San Francisco concluyó el

2 de febrero de 1893; la de San Agustín en 1910; Santo Domingo en 1924; La Merced en 1994, después del terremoto de 1987; y la Catedral en 1930. Es decir, el perfil de la ciudad es cambiante. Durante más de tres siglos estos elementos verticales fueron los hitos construidos de la ciudad, fueron referente de orientación, monumentalidad y poder de la iglesia.

Los levantamientos arquitectónicos realizados en el siglo XX, a más de la precisión, y la tecnología utilizada -fotogrametría terrestre o escaneo digital- permiten confirmar la presunción del manejo de proporciones académicas utilizadas durante los siglos XVII al XIX como principio básico del equilibrio, proporción y belleza en la arquitectura en términos generales: La relación 1:2 utilizada en la configuración de la planta arquitectónica, o 1:6 para la altura de la torre. El aporte más destacado radica en la comprensión de la complejidad topográfica del sitio para lograr una unidad arquitectónica. En detalle, la torre es un elemento cuyas dimensiones varían en la base y en su desarrollo, no es paralela a la iglesia y tampoco se inserta en los ejes de composición del templo, hay ausencia de ángulos rectos en la planimetría. Las medidas adoptadas para este estudio son las tomadas en la base de la fachada y de la torre. Por otra parte, la base está embebida en los muros del claustro, lo que dificulta conocer el ancho del muro con precisión, en la parte que colinda con el centro cultural Metropolitano.

La relación proporcional de 1:6 en la torre de la iglesia de la Compañía de Jesús pone en contexto la descripción de la carta Annuaria y la de Joseph Kolberg cuyos criterios fueron referentes iniciales de este estudio. La comparación entre el levantamiento arquitectónico de 1992 y 2019 permite confrontar la descripción histórica con las medidas tomadas en el edificio, reconocer la aplicación de criterios de proporción y belleza presente en los tratados de arquitectura italianos no solo en planta y elevación, sino desde la perspectiva urbana, y las dificultades de su aplicación en la realidad topográfica de Quito, ya que la torre de la iglesia de la Compañía de Jesús es un elemento arquitectónico diseñado para ser observado mediante un recorrido y una sucesión de experiencias visuales: un hito llamativo que invita a la aproximación desde lejos, y de cerca, la sorpresa de la fachada que concluye con la maravilla del interior, un recurso que se inserta en el espíritu de lo barroco. Desde el exterior se encuentra en diálogo con las demás torres de la ciudad histórica y desde varias colinas que la circundan, quizás esto haya obligado a forzar la altura sobre los 40 metros con una solución tecnológica atrevida en su época. A esto vale añadir que Quito está rodeada de colinas y hasta el siglo XIX la observación de la ciudad desde lo alto fue uno de los atractivos para su gente en cuyas laderas identificaron sitios de privilegio para la observación denominados "miradores de pobres", desde aquí se identifica un perfil urbano cambiante según donde se sitúe el observador. Años más tarde, estos miradores fueron los lugares preferidos por los fotógrafos para realizar tomas atractivas de la ciudad.

El diseño de la torre sugiere una geometría y relación proporcional concebida en la segunda etapa de construcción del edificio a cargo del hermano Marcos Guerra, quien dio el carácter unitario a la arquitectura del conjunto jesuita utilizando recursos de perspectiva y decoración barroca que llaman la atención a quien visita el edificio. Uno de los aportes singulares de esta obra es el desplazamiento de la torre hacia el claustro del colegio, en el interior del predio [Figura 10]; esta decisión rompe con el diseño tradicional de fachada y torre sobre línea de fábrica, y es una pregunta que permanece: ¿por qué mantuvo la torre en el interior del predio? Una respuesta provisional es que la torre ya estuvo en ese lugar a su llegada. Una de las pruebas es que no tiene una proporcionalidad rigurosa que se observa en la volumetría de la iglesia, fachada y cúpulas. La torre no tiene ángulos de 90° pero sus dimensiones se acercan a un cuadrado. El emplazamiento de la iglesia no es paralelo a la torre. El nivel de arranque de la fachada no es el mismo de la torre; no obstante, la solución constructiva resuelve la relación de proporción entre fachada y torre de manera visual y espacial antes que, desde la rigurosidad de la medida, se acomoda a la topografía y a la posibilidad de que destaque entre las demás cuando se la observa a la distancia y desde lo alto.

Este estudio permite valorar la capacidad de Marcos Guerra para componer y readecuar las piezas de un objeto arquitectónico preexistente al orden académico vigente, compatible con la naturaleza geológica de Quito, y una arquitectura con identidad propia y como una totalidad. Posteriormente, Jorge Vinterer puso el rigor en el orden de los elementos compositivos de la fachada, enlazando de manera visual a la torre. A esto se suma la calidad constructiva y estructural, y solidez del edificio, puesta a prueba en alrededor de un siglo de abandono y cinco terremotos que la han afectado hasta la actualidad, momento en el que tuvo el primer reforzamiento estructural.



Figura 11.- Iglesia de la Compañía de Jesús según escaneo HBIM. Recreación de la volumetría de la torre. Elaboración propia

Agradecimientos

Agradecemos la información proporcionada por la Fundación Compañía de Jesús: Diego Santander Gallardo y Luis Subía; a Christoph Hirtz por la fotografía [8], a Enrique Nieto de la Universidad de Sevilla por la información del levantamiento HBIM; a Alejandra Llumiluisa en la elaboración de los gráficos. El artículo es derivado del proyecto de investigación "Etapas constructivas de la arquitectura religiosa de Quito. Siglos XVII-XIX", auspiciado por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Universidad Internacional del Ecuador UIDE, y Universidad Politécnica de Madrid.

Notas

[1] Expediente del plano de Dionisio Alcedo y Herrera. Quito, 132. N. 2. Archivo de Indias. Sevilla.

[2] Archivo histórico de la Sociedad Jesuita. Carta Anua desde los años 1642 hasta 1652 de la Provincia del Nuevo Reyno de Quito. Folio 25; Colegio de Quito, segunda parte de la Anua de la Provincia del Nuevo Reyno de Quito, fol. 25v.

Referencias

CICALA, M., (1994, reedición). *Descripción histórico-topográfica de la Provincia de Quito de la Compañía de Jesús*. Quito: Biblioteca Ecuatoriana Aurelio Espinosa Pólit, IGM.

DE LA CONDAMINE, C. M., (1986, reedición). *Diario de viaje al Ecuador*. Quito: Publitécnica.

DEL PINO, I. Y. H., (1990). *Apuntes para una historia sísmica de Quito*, Centro histórico de Quito. problemáticas y perspectivas. Quito: Municipio de Quito, Junta de Andalucía, 67-100.

EL NACIONAL (a), (1868). Obras Públicas. *El Nacional*, 19 agosto, 1.

EL NACIONAL (b), (1868). Obras Públicas. *El Nacional*, 10 septiembre, 1.

GIRALDO, A., (1952). El padre Juan Domingo Coleti y su Diccionario. *Sociedad Geográfica de Colombia*. (1). Año X, 1-20.

GUTIÉRREZ, R. y G. V., (1977). San Francisco de Quito. *Trama*, 1(1): 36-38.

HERRERA, P., (1916). *Apunte cronológico de las obras y trabajos del cabildo o municipalidad de Quito desde 1534 hasta 1714*. Primera ed. Quito: Imprenta Municipal.

JOUANEN S.J., J., (2003). *Historia de la Compañía de Jesús en la República del Ecuador*. 1850-1950. Quito: PUCE.

KOLBERG, J., (1996). *Hacia el Ecuador. Relatos de viaje*. Quito: Abya Yala.

NIETO, J. L. L. M. J., (2021). Implementation of a TeamWork HBIM for the Management and Sustainability of Architectural Heritage.

Sostenibilidad, 13 (4), 2161 <https://doi.org/10.3390/su13042161>

ORTIZ, A., (2008). Desde la primera piedra hasta la expulsión: 160 años de historia. En: *Radiografía de la Piedra*. Primera ed. Quito: FONSAL, 173-211.

RECIO S.J., B., (1947). *Compendiosa relación de la cristiandad de Quito*. Madrid: Instituto de Santo Toribio de Mogrovejo.

SALDARRIAGA, A. O. A., (2006). *En busca de Thomas Reed. Arquitectura y política en el siglo XIX*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.

SANTANDER, D. M. S. J. L., (2008). Un templo vivo. Sentido y misión de la restauración del templo y colegio de los jesuitas en Quito. En: *Radiografía de la piedra. Los jesuitas y su templo en Quito*. Quito: FONSAL, 309-337.

Autor/es



Inés del Pino Martínez

idelpinom@puce.edu.ec

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

<https://orcid.org/0000-0003-4023-2271>

Arquitecta. Doctora en Arte y Arquitectura por la Universidad Nacional de Colombia. Máster en Estudios de la Cultura por la Universidad Andina Simón Bolívar; Máster en Gobierno de la Ciudad con mención en Áreas Históricas. Profesora investigadora de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Investiga temas relacionados con territorio y paisaje, arquitectura y ciudad ecuatoriana.



M. Lenin Lara Calderón

lenin.lara.calderon@alumnos.upm.es ; mlara@uide.edu.ec

Universidad Politécnica de Madrid y Universidad Internacional del Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-8395-9932>

Arquitecto, con formación investigativa, docente y profesional, Máster en Restauración Arquitectónica y Máster Administración de Empresas Inmobiliarias. Estudiante de doctorado del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la Universidad Politécnica de Madrid. Profesor investigador de la Universidad Internacional del Ecuador, ha colaborado en varios programas y proyectos de investigación sobre patología de la construcción y conservación del patrimonio.

Artículo enviado el 16/11/2021

Artículo aceptado el 19/01/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1080>

The degradation of the “Study room” (Convent of Christ, Tomar, Portugal), from a preliminary analysis towards a sustainable maintenance

Fernando Costa, Manuel Rosa, Mattia Canetto, Maria Júlia Sobral da Fonseca

Abstract: Following a comprehensive analysis of the stone degradation of the “Study Room”, in the Crow’s Cloister west wing (Convent of Christ, Tomar, Portugal), a multiapproach plan was made to address the salt problems encountered on its limestone columns. Chemical characterization studies were made to determine the concentration and the type of the efflorescence soluble salts involved, as well as the ionic composition of the limestone material of the column, and also, in which environmental conditions their harmful activity is reduced (or prevented). Finally, on site, the existing cement mortar was removed in a 30 cm area around the base of the column, and the ionic characterization obtained was submitted to the ECOS-RUNSALT software, which determined that simply by fixing the relative humidity at $65\pm 2\%$, the weathering process would be substantially reduced – conditions different from the ones encountered.

Keywords: limestone, column, crystallization, cellulose-pulp, salt extraction, sustainable

La degradación de la “Sala de estudio” (Convento de Cristo, Tomar, Portugal), desde un análisis preliminar hacia un mantenimiento sostenible

Resumen: Tras un análisis exhaustivo de la degradación de la piedra de la “Sala de estudio”, en el ala occidental del Claustro del Cuervo (Convento de Cristo, Tomar, Portugal), se elaboró un plan de múltiples enfoques para abordar los problemas de sal encontrados en sus columnas de piedra caliza. Se realizaron estudios de caracterización química para determinar la concentración y el tipo de sales solubles de eflorescencia involucradas, así como la composición iónica del material calizo de la columna, y también, en qué condiciones ambientales se reduce (o se previene) su actividad nociva. Finalmente, en obra, se eliminó el mortero de cemento existente en un área de 30 cm alrededor de la base de la columna, y la caracterización iónica obtenida se sometió al software ECOS-RUNSALT, el cual determinó que simplemente fijando la humedad relativa en $65 \pm 2 \%$, el proceso de meteorización se reduciría sustancialmente, condiciones diferentes a las encontradas.

Palabras clave: piedra caliza, columna, cristalización, pulpa de celulosa, extracción de sal, sustentable

A degradação da “Sala de Estudos” (Convento de Cristo, Tomar, Portugal), a partir de uma análise preliminar para uma manutenção sustentável

Resumo: Após uma análise abrangente da degradação da pedra da “Sala de Estudos”, na ala oeste do Claustro do Corvo (Convento de Cristo, Tomar, Portugal), foi feito um plano multiabordagem para resolver os problemas do sal encontrados nas suas colunas de calcário. Estudos de caracterização química foram feitos para determinar a concentração e o tipo de eflorescência dos sais solúveis envolvidos, bem como a composição iónica do material calcário da coluna, e também, em que condições ambientais a sua atividade nociva é reduzida (ou impedida). Finalmente, no obra, a argamassa de cimento existente foi removida numa área de 30 cm ao redor da base da coluna, e a caracterização iónica obtida foi submetida ao software ECOS-RUNSALT, que determinou que simplesmente fixando a humidade relativa em 65 %, o processo de intemperismo seria substancialmente reduzido - condições diferentes das encontradas.

Palavras-chave: calcário, coluna, cristalização, polpa de celulose, extração de sal, sustentável

Introduction

The action of soluble salts in building materials is one of the main causes of monument deterioration, in the most diverse environments. Natural stone can contain water with soluble salts trapped in the pores. Most of these, move invisibly through the solution and moisture cycle, and are absorbed by the petrous material through the pores. Others, too many to keep moving, simply appear on the surface as white or gray efflorescence. Investigations about this field have ascribed the process to the pressure of growing neoformed crystals on the walls of porous systems in the building materials (Aires Barros 2002: 3-9; Cardell *et al.* 2003: 165-179; Franceschi and Germani 2005 : 176-178; Tsui *et al.* 2003: 109-115).

The alternating processes of salt dissolution, crystallization and hydration can modify the structure of rocks (Arnold and Zehnder 1990: 31-58; Fitzner 1994: 43-54; Lubelli and Hees 2007: 223; Winkler 2013: 155-156).

The crystallization process generates a high stress resulting in micro cracks causing various macroscopic changes including loss of cohesion between grains, scaling, cracking and fracturing, among others (Benavente *et al.* 2004: 113-127; Cardell *et al.* 2003: 165-179; Charola 2000: 327-343; Doehne *et al.* 2001). The shape and extent of damage depend on the porosity and hygroscopicity of the material (Franzin 2009: 12).

This crystallization of stone salts is probably the most important factor governing stone weathering in temperate climates, as the portuguese. These salts are mainly constituents of the rocks used in the heritage (Honeycombe 1990: 153-178) but can also have anthropogenic origin (Brimblecombe and Grossi 2007). The prediction of the behaviour of a salt in a rock depends on the rock and salt physicochemical properties and on the environmental

temperature and the relative humidity (%HR). Phase change cycles play a major role on the salt crystallization and dissolution that promotes stone weathering (Ruiz-Agudo *et al.* 2010) and the study of these cycles has been individually made in laboratory since the XIXth century (Goudi and Viles 2008: 129-164) but in reality, in the rocks, there are mixed salt systems organized in many possible combinations and concentrations and its crystallization and dissolution sequences are more complex, and, its empirical prediction is far from a trivial task (Steiger and Heritage 2012). The development of the ECOS software was based in the quantitative analysis of the most important cations and anions of the rock and in a thermodynamic model that could predict the environmental conditions that would minimize salt weathering of the stonework (Price 2007: 369-374). This ECOS (Environmental Control Of Salts) thermodynamic model, describes the behaviour of salts in solution relating it to temperature and relative humidity, was later upgraded in terms of the development of a graphical user interface that became known as "RUNSALT" (Bionda 2005: 2002-2005). The ECOS-RUNSALT computer program was used to predict the environmental conditions in the "Study Room" that would prevent or restrict further weathering of the studied column.

This paper reports the practical procedures taken, which were aimed at fully understand how the current state of the supported columns of the "Study Room" (Figure 1) was reached, starting from an overall historical background and going through several confluent aspects to its current situation. In fact, for an accurate analysis and for the achievement of reliable results, it is necessary to widen the review in order to include the viewpoints of several disciplines including: Architectural Heritage, Conservation and Restoration of stone materials, Mineralogy, Petrology and Chemistry. Ultimately, it was intended, with the understanding thus acquired, to minimize the process that led to the degradation of the stone, due to the crystallization of soluble salts. [Figure 1].



Figure 1.- Overview of the "Study Room" wall with the column under study in the centre.

The supported column seen in Figure 1 is in the “Study Room” which is located in the west side of the Crow’s Cloister, between the coffee shop and the cloister entrance. This room has two entrances: from the west gallery of the cloister and from the Executioners Courtyard.

The used methodology is based on literature review comparison with similar cases, multidisciplinary scientific knowledge, and takes into account the principles of Conservation ethics and it aims at the safeguard of the historical and cultural values of this landmark. The principles of distinctness, reversibility and of minimal intervention were taken into account in the planning of this intervention, according to a methodological process developed in such a way as to allow the transmission of the cultural asset to the future generations without delete or alter the downfall of time, in this case, special attention was paid to guaranteeing its preservation and extends its durability, by means of the most minimalist intervention possible.

To lighten this document, the technical procedures for the site conservation are only briefly mentioned to contextualize the study in the context of the emerging intervention.

From diagnosis to action

This limestone column is 3.5 m high in total. Its petrous material was in an advanced state of degradation caused by cement mortar ancient repairs, followed by efflorescence and erosion as shown in Figure 2. Humidity stains, pulverization and cracks were also noticeable, all, important anomalies to the material, as for the normal and healthy use of the room; in addition to the aesthetic degradation, loss of historical material was reported. Hence, the reduction of the mechanical strength of the materials and the construction elements (Puim *et al.* 2012 : 2). The phenomenon was found very worrying in all perspectives. [Figure 2]

Another factor that influenced the formation of efflorescences and especially their migration to the surface of the column is the presence of two layers of cement mortar. This is incompatible with the masonry of limestone. In fact, during the 20th century, in the restoration of masonry structures, there was a tendency to replace mortars with cement-based mortars. However, in several recent cases, extensive damage to the ancient masonry due to incompatibility of the cement-based mortars with the old materials has clearly been established. Indeed, cement-based mortars show a high content of soluble salts, potentially dangerous for decay of ancient mortar by crystallization and dissolution cycles (Lanas and Alvarez-Galindo 2003: 1867). In fact, the saline efflorescence was more abundant in the interface cement/column than in the central area of the column.

Meanwhile, starting the conservative intervention, the inadequate material has been removed, namely, the cement mortar around the perimeter of the column, reaching a distance of about 30 cm as presented in Figure 3a.

Given the seriousness of the degradation observed and its causes being obvious, the recording of environmental conditions and sampling (under the required conditions) were immediately started, which would allow the harmful influence of salts on the stone to be quantified and qualified.

Thus, in order to characterize the environmental conditions, the surface humidity was measured in loco and a datalogger was installed for continuous measurement of the temperature and relative humidity in the compartment; for the characterization of the salts observed on the surface, samples were immediately collected with scalpels and a plan for collecting soluble salts with cellulose pulp was established - which would allow, not only remove them, but also monitor the effectiveness of the procedure

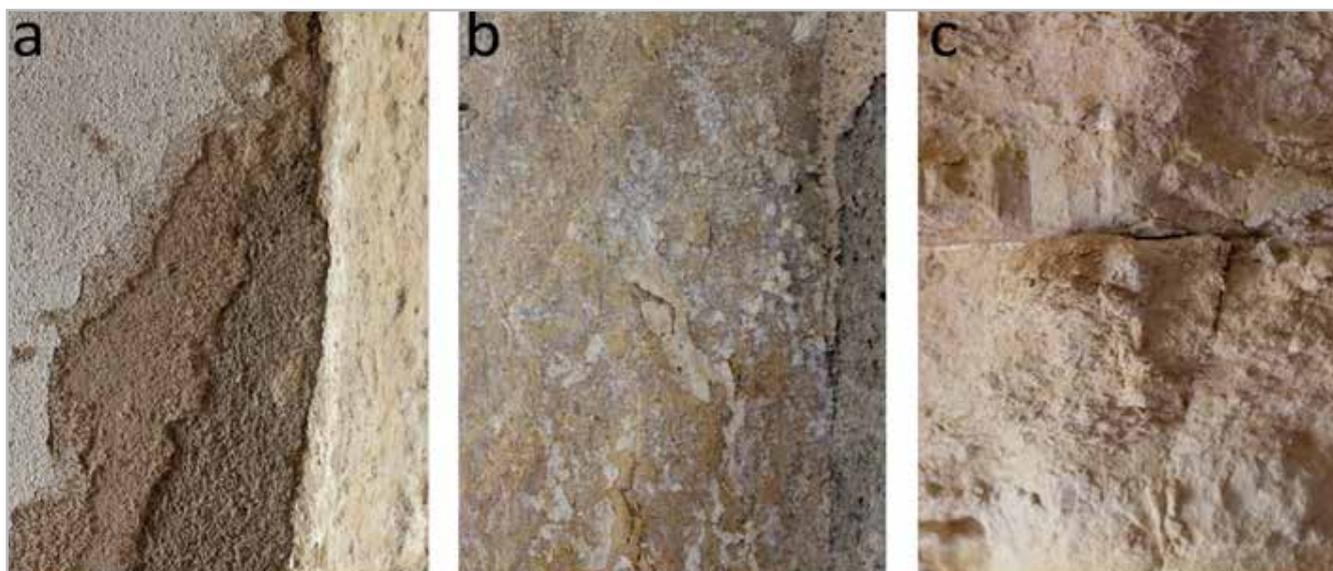


Figure 2.- Stone deterioration of the column: (a) cement mortar layers, (b) efflorescences and (c) erosion.

until it becomes essential redundant, both, in 13 pre-established subdivisions of the most affected column; thirdly, two drilled samples were taken from the column's base, to investigate the specific composition of this rock (cations and anions), which would be available to recombine as a result of the climate conditions scenarios suggested by ECOS-RUNSALT.

Additionally, it was decided to collect involuntary samples of stone from the column, whose diffraction analysis would establish the mineralogical composition of this particular limestone.

Methodology

Meanwhile, starting the conservative intervention, the inadequate material has been removed, namely, the cement mortar around the perimeter of the column, reaching a distance of about 30 cm as presented in Figure 3a.

—Climatic study

• Column surface moisture

The analyses of the humidity present in the limestone, measured with the use of a portable Protimeter Mini Super Mk2, were carried out with a total of 13 measurements at the mentioned reference distances, both in sunny and rainy days, in order to observe the existing differences under those environmental conditions.

• Environmental parameters's automatic measurement

The environmental thermo-hygrometric conditions of the "Study Room" were monitored since October 2012 to June 2013. For the monitoring (hourly), a datalogger type Rotronic Hygrolog D High Precision (± 1.5 %RH accuracy) was used, being placed in the center of the room at a height of about 3 m. The monitoring campaign focused on the measurement of the two most important parameters that influence the weathering of the stone materials in the room: Temperature (T), in °C and Relative Humidity (HR), in %. The air temperature and the relative humidity values strongly influence also the crystallization of soluble salts (Arnold and Zehnder 1990 : 31-58).

The factors that affect the amount of absolute humidity and water vapor present in the room environment are:

- a) Outside weather conditions of temperature and relative humidity;
- b) The periodic openings of the doors, with the resulting mixing of internal and external air.

The standard UNI 10829:1999 (Norma UNI 10829:1999 : 1-20) suggests, for the conservation of porous stones, a relative humidity value that ranges from 40% to 60% and

a temperature value that ranges from 15 °C to 25 °C but it all depends on the stone base material ionic composition.

— Salt/Ionic study

• Soluble salts

-Mechanically collected (scalpels)

Following the column vertical profile, sections were established at distances of 20 cm, from the base up to the chapter. This subdivision was necessary to have physical references and understand the distribution and the vertical pattern of the salts, both qualitatively and quantitatively, allowing to know with precision the behavior of the different species of salts, and to assume their origin.

With these reference distances, 13 samples of saline efflorescence were collected using a scalpel. The samples, once detached from the support, were kept individually in plastic bags marked with the labels corresponding to the intervals of distance and then sealed.

The chemical analyses were conducted in order to quantify the soluble salts, in the form of the concentration of the respective ions after solubilization. The samples were collected along the entire profile of the column. The concentrations of the soluble salts were determined after the dissolution of the efflorescence in water. The chloride concentration was obtained by a volumetric method (Mohr method), the determination of the sulphate concentration was obtained by a turbidimetric method (Standard Methods 9038) and the nitrate concentration was obtained by the use of a photometric absorption method (Dimethylphenol Method).

-Removed by the application of cellulose patches

It was also decided to take advantage of the removal of salts with cellulose pulp patches (CR methodology for the partial removal of salts from porous materials, but, before the extraction of the salts, it was necessary to proceed with the mechanical removal of the efflorescences, visible and scarcely adherent to the surface, by the use of soft toothbrushes, scalpel, in such a way as to avoid their solubilization and possible penetration into the limestone. Subsequently, all the residues on the stone were removed by compressed air, using an adequate pressure in order not to damage furthermore the column. [Figure 3]

The method used for the removal of the soluble salts was the application of multiple consecutive patches of cellulose pulp (free of soluble salts) and deionized water, since the use of absorbent clays have the drawback of subtracting the water too quickly not given enough time to the salts to dissolve (or solution to penetrate), restricting the effectiveness of the subsequent drying



Figure 3.- Intervention of conservation; (a) removal of cement mortar, (b) the preliminary test of absorption with cellulose pulp ARBOCELL BC1000 and (c) the cellulose pulp applied over the entire surface of the column.

step; in which the water carries the dissolved salts towards the pulp, extracting them from the limestone.

The time of application of the pulp was based on a preliminary test carried out (Figure 3b) on a portion of the surface (about 10x10 cm) and its duration was influenced by the time necessary to allow the pulp to dry (Franceschi and Germani 2005 : 176-178). Following the satisfactory results of the tests, absorbent pastes were applied over the entire surface of the column, as presented in Figure 3c. The extraction of soluble salts was performed in three cycles by applying the pulp (ARBOCELL BC1000, average fiber length 700 μ), to the entire surface of the column and respective chapter, allowing every cycle to perform extraction during of 48 hours. After each cycle, the pulps were removed at intervals of 20 cm with the help of scrapers, separated and taken to the laboratory where their conductivity was measured.

Practical Procedures:

1) The pulps plasters were prepared by mixing 50 g of cellulose pulp with 200 ml of distilled water and were placed in selected areas, leaving them to act for a time of 48 hours. They were covered with plastic film to prevent its detachment and to avoid the quick evaporation of the water.

2) Once dried, the pulps were removed and taken to the laboratory where they were allowed to dry in an oven, placed inside suitable containers for 6 hours at 105°C (to achieve a constant weight) and after cooling in a desiccator, their weight was measured.

3) In order to measure the specific conductivity, the pulp plasters extracted were immersed in a suitable volume of

deionized water (1 liter) with conductivity not exceeding a few units of μ S/cm. After homogenizing the suspension, it was measured the conductivity. The specific conductivity was measured by means of a conductivity meter with automatic temperature compensation.

- Ionic composition

The samples collection was made by drilling 2 cm into the column in a lateral face of its base structure. Three samples were collected and ground in a ball mill prior to the salt extraction.

The extraction process of the water-soluble salts was done with distilled water in a proportion of 0,1g of ground sample per 10 ml of distilled water. The time of extraction was 24 hours.

The dissolved salts enable the quantification of the ion concentration in the extracted solution. The ions quantified were Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Mg_2^+ and Ca_2^+ . This ion analysis was performed at the IST (Instituto Superior Técnico) Analysis Centre in Lisbon, using for the anions analysis the APHA Method 4110 (APHA 1992) by ion chromatography and for the cation analysis the "ISO 11885:2007 by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES).

—Mineralogical study

The X-ray diffraction analysis (XRD) with diffractometer Rigaku Last IV was carried out to recognize the mineralogical species present in the samples of the salts taken from the surface of the column. Specifically, the analyzed samples were taken at the distances 0-20 cm, 80-100 cm, 160-180 cm and 240-260 cm from the base of the column.

Results and discussion

— Climatic characterization

• Column surface moisture, results

The measurements on the column surface humidity were almost always of 100 %, and in relation to this parameter, the influence of the outside atmosphere is plausible through the doors, but the importance of the nearby Crow's cistern is ruled out.

The higher humidity values in the upper part of the column (chapter), as shown in Figure 4e, are probably due to the infiltrations originated from the terrace situated above the room.

• Environmental parameters' automatic measurement, results

The monitoring of the "Study Room" microclimate is presented in the chart of Figure 4 where the temperature and relative humidity appear in function of time from early November to mid-June. The temperature did not have large variations in January and February but it clearly decreased in November and December and increased in March, April and June. The average temperature during the monitoring campaign was 15.0 °C with a maximum of 20.5 °C and a minimum of 11.9 °C. The relative humidity presented higher variations with an average of 65.7%, a maximum of 87.1% and a minimum of 41.0%. [Figure 4]

— Salt/Ionic characterization

• Soluble Salts

- Mechanically collected (scalpels)

The values obtained for concentration of the analyzed ions presented in the efflorescences are shown in the charts of Figure 5. They reveal that the chloride salts have values about one thousand-fold higher compared to the sulfate and nitrate salts.

The profile of the distribution of the chloride salts on the surface of the column was mainly constant and this phenomenon is explained by the higher solubility and greater mobility of these salts compared to the other studied salts. The lowest obtained value of chloride ion concentration was 0.337 ± 0.018 g/l on the base of the column and the highest values on the lower half of the column ranging from 1.335 ± 0.057 g/l at 60 cm from the base to 2.245 ± 0.051 g/l at 140 cm from the base.

The concentration of the nitrate ion was higher on the base of the column with values of 10.029 ± 0.81 mg/l and 9.804 ± 0 mg/l at 20 cm from the base, the lowest value was 0.257 ± 0.107 mg/l at the top of the column (240 cm), this may be explained by the use of this room as a stable for some time in the past.

As to the sulphate ion, the obtained concentrations have an out-of-trend peak in the body of the column, at a height of 60 cm reaching the 13.858 ± 0.082 mg/l mark but the general trend is clearly of a decrease towards the top of the column starting at the bottom of the column with a concentration of 10.205 ± 0.137 mg/l and decreasing to 0 mg/l at the top of the column. This may be explained by the contact of the limestone column material with the cement mortar applied in the past at its base with a wave of sulphates progressing towards the top of the column.

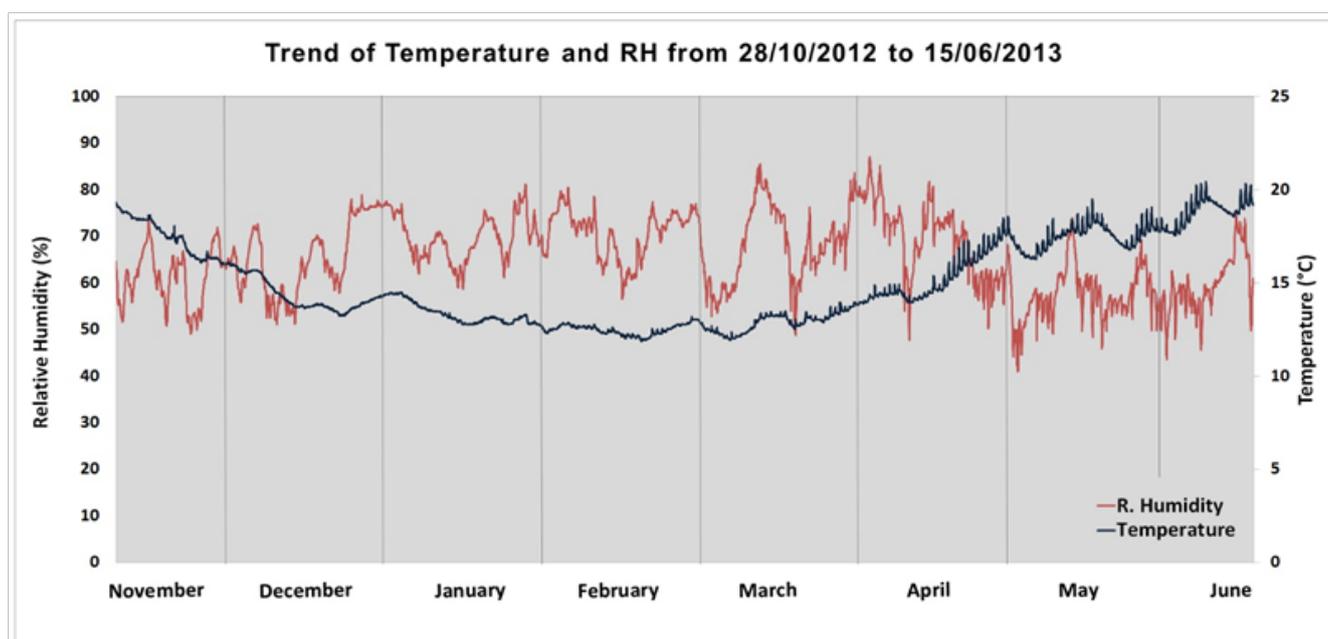


Figure 4.- Trend of Temperature and Relative Humidity of the "Study Room".

- Removed by the application of cellulose patches

Relative to the intervention, the obtained values on the three tests show a significant decrease of the conductivity from 2540 to 371 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in the case of the central sample and from 3116 at 490 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in the case of the sample on the right side. The cycles of absorption gave satisfactory results. The cycles of absorption were monitored by the analysis of the conductivity and revealed higher salt extraction at the base of the column, decreasing upwards, with lowest values at the top of the column. These results are in general accordance with the specific individual determination of the concentration of the three studied ions. From the first to the third application, in the base, the initial values that were close to 9000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ fell to values close to 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and, at the top, from values close to 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ to 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, as can be seen in Figure 5d. A considerable quantity of salts was absorbed from the surface of the column. Also, the appearance of the stone improved. [Figure 5]

• Ionic Composition

The results obtained from the ion analysis are presented in the Table 1.

Ions	Original (ppm)	Sd
Cl^-	9.67	1.53
SO_4^{2-}	10.67	1.53
NO_3^-	3.00	0.00
Na^+	9.67	1.15
K^+	13.00	7.81
Mg^{2+}	4.43	0.67
Ca^{2+}	110.00	10.00

Table 1.- The ionic composition of solutions obtained from the dissolution of the salts contained in the limestone material of the column and its standard deviation (sd).

— Mineralogical characterization

The diffractograms obtained and presented in Figure 6, were all very similar. The spectra showed the presence of calcite and halite at all heights. The calcite is attributable to the type of limestone composition, while the halite, a sodium chloride mineral, may be related to the casual presence of chloride salts. [Figure 6]

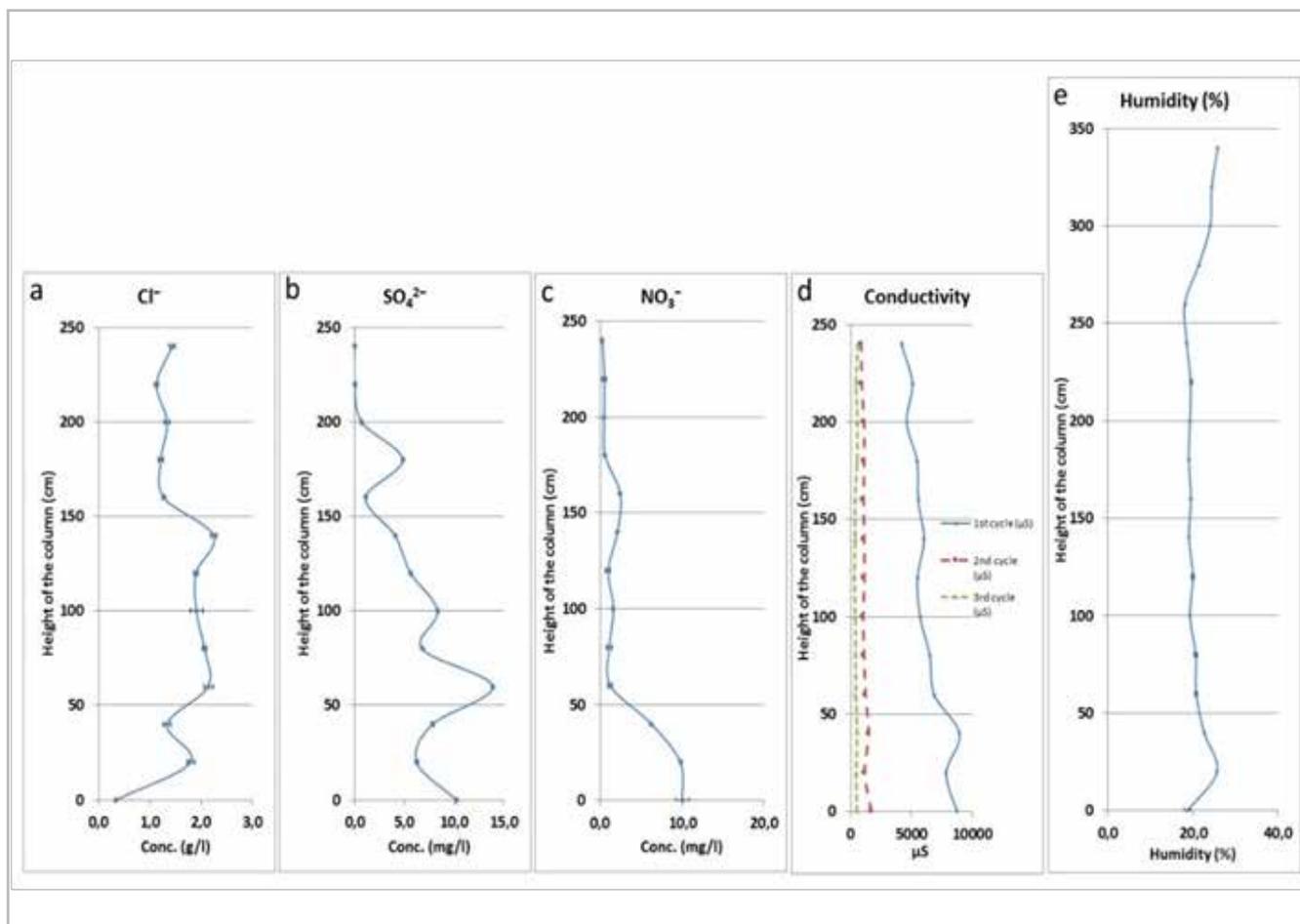


Figure 5.- Reference distances and respective distribution of the concentrations of (a) chlorine ion, (b) sulphate ion and (c) nitrate ion in the efflorescences, (d) conductivity of the cellulose after the tree interventions cycles and (e) surface humidity of the column limestone.

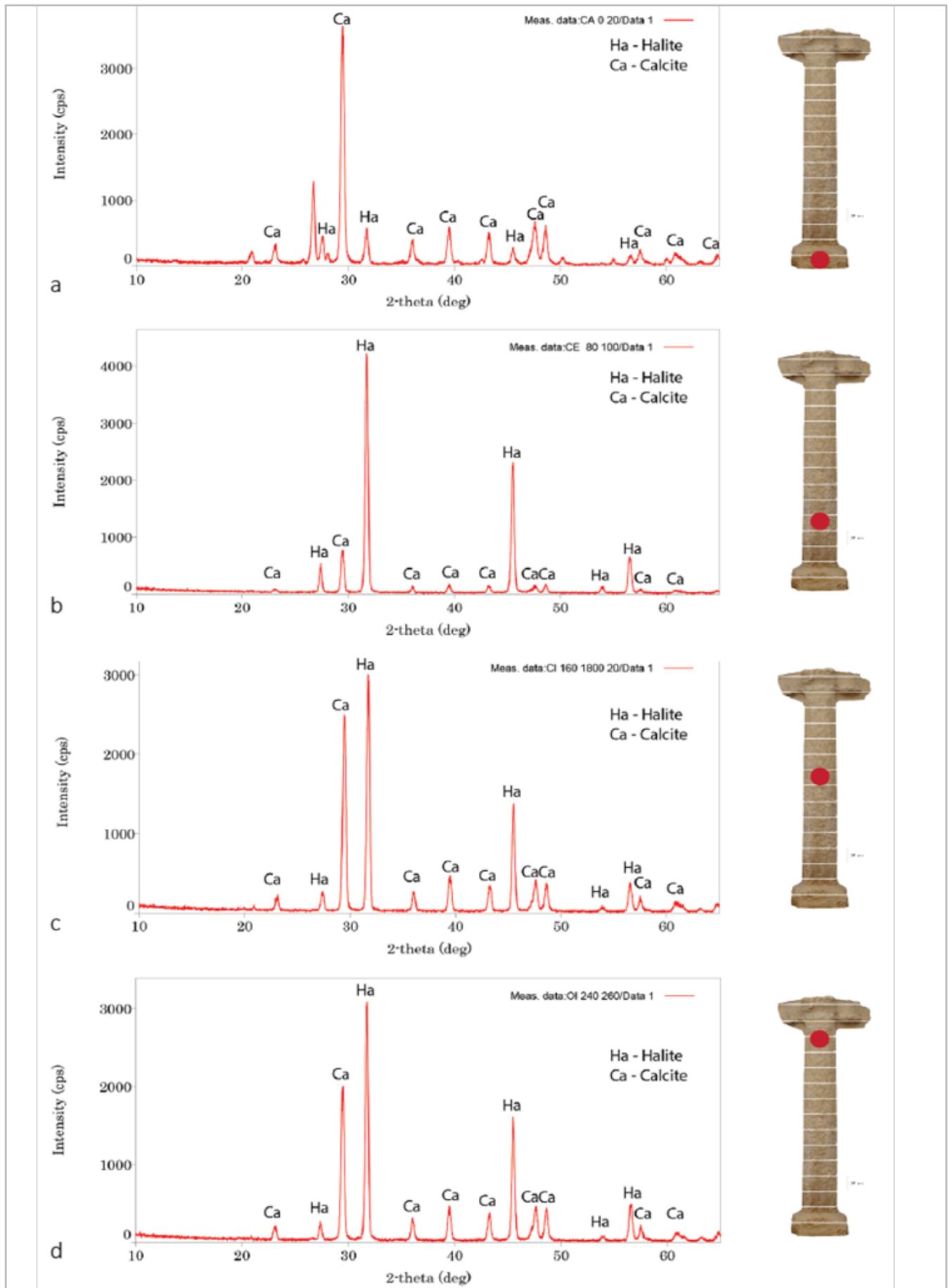


Figure 6.- XRD Spectrums of saline efflorescence from the base (a) to the top of the column (d).

Sodium chloride is the main salt in maritime aerosols, and it can be found in the atmospheric deposition at distances of up to 100 km from the coast. In many cases, this type of weathering can be so serious that it results in the loss of the architectural and historical value of a building or monument (Silva *et al.* 2007). In this case, in the column base sample, the highest halite peak is very weak. Meanwhile, the same peak is of about the same height and area on the other three samples of the column. The other two halite peaks give analogue information for the base and remaining three samples. This information, is in accordance with the general profile of the previous determined chloride ion concentrations.

— The ECOS-RUNSALT software

The ECOS-RUNSALT program performed the necessary calculations for the corrections of the concentration of Ca^{2+} and gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), after which the environmental parameters were set for a relative humidity between 15% and 98%.

The simulations were done for different values of environmental temperature ranging from 0 to 40 °C with a 5 °C step. Figure 7 shows, as examples, the evolution of the salt composition volume obtained with ECOS-RUNSALT for three of the studied temperatures (0, 15 and 30 °C), being the black line the sum of the volumes of all the salts present according to the program calculations. The charts give us information

about the salt volume variations.

Analysing the information enclosed in the chart for 0 °C, we can see that when relative humidity rises, occurs dissolution of the salts. In detail, at about 25% of relative humidity, the calcium nitrate dissolves totally and antarcticite starts a process of dissolution that ends at about 33% of relative humidity. Carnallite starts dissolving also at 25% of relative humidity but the process is slower and only ends with the total vanishing of its crystalline form at about 43%. The other two salts present are sylvite and halite and remain in its crystalline state until 63% of relative humidity. Looking at the chart in reverse direction, for 0 °C, the constant decline in relative humidity produces an increase in the volume of crystallized salts from 63% until 25% of relative humidity. Only when the relative humidity declines, the conditions for the expansion of salts (increase in salt volume) arise and thus for the occurrence of limestone weathering of this base material of the column.

The salt behaviour also depends on the temperature, and thus other temperatures were studied and as the example of Figure 7 shows, the crystallization/dissolution processes have different curve profiles as the relative humidity changes. It also shows that the relative humidity conditions that promote salt crystallization indicate that, according to the “Study room” climatic study, the main salt to crystallize is halite, in accordance with the results of the XRD Spectrums. [Figure 7]

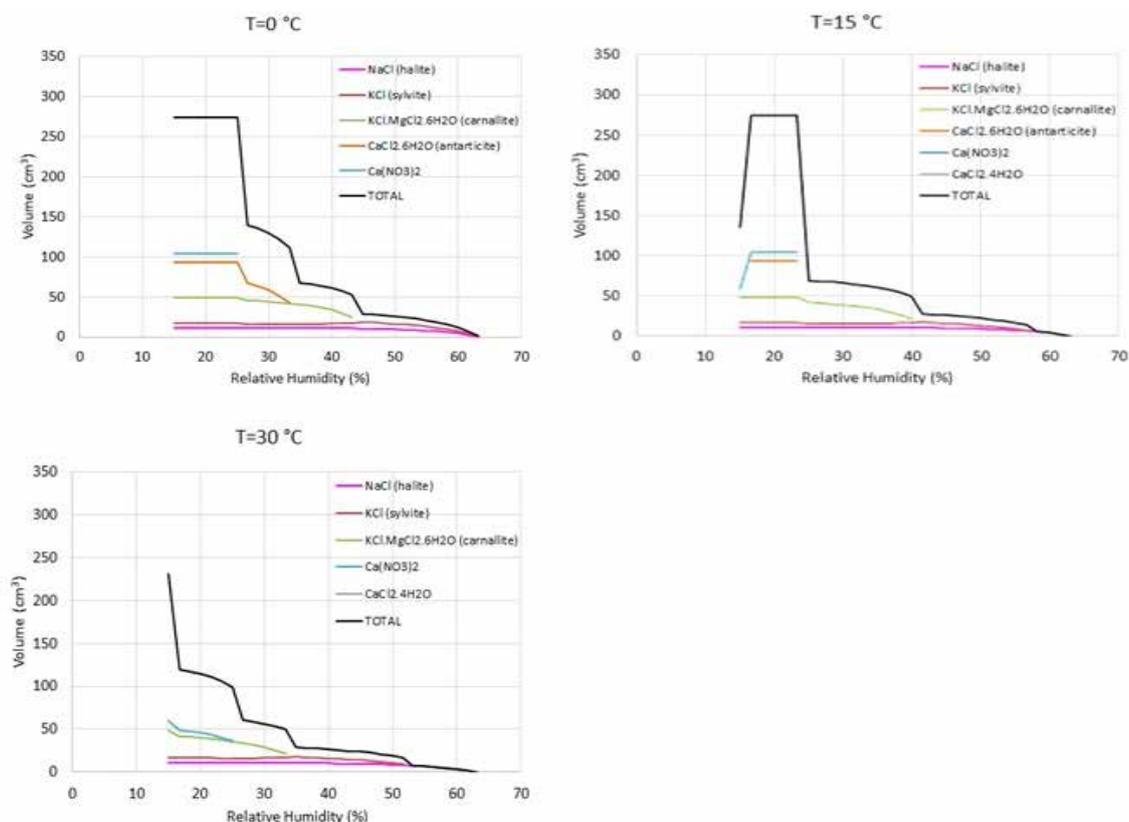


Figure 7.- ECOS-RUNSALT simulations for constant temperatures of 0, 15 and 30 °C and variable relative humidity. The salts in the crystal form are presented in different colours according to the chart legend. The black line represents the sum of the volumes of the different crystallized salts present.

To understand if there were environmental conditions in the "Study room" that might have triggered events of weathering of the column material, the results for all the simulations were analysed in terms of rise and decline of the relative humidity for each computed temperature. Figure 8 shows all the plots of total salt volume against relative humidity for the various temperatures ranging from 0 °C to 40 °C. [Figure 8]

When the simulations are analysed from the perspective of rising relative humidity, there is only two observed episodes of increasing total salt volume at 15 °C and at 20 °C. For example, at 15 °C, the total salt volume increases when the relative humidity rises from 15% to 16,66% (red arrow). In the case of the decline of the relative humidity perspective (blue arrow), in every chart, we can see that there is always a rise of the total salt volume starting at 63,14% of relative humidity until different values of relative humidity, depending on the studied temperature. For example, at 0 °C, the total salt volume increases until 24,96% of relative humidity. This rise, from the perspective of the decline of the relative humidity, has several steps but never decreases, it otherwise couldn't be approached as a single rise episode, but that there are

declining relative humidity zones where the rise of the total salt volume is negligible. For example, in the 15 °C chart, there is a level of almost non varying salt volume when the relative humidity declines from 56% to 43%, while for the same temperature there is a huge increase in salt volume when the relative humidity declines from 25% to 23%. This means that some values of relative humidity are more prone to develop increase in total salt volume than others. This characteristic behaviour is of great interest in the scope of the control of the weathering. If the environmental conditions are controlled within certain boundaries that restrain the increase of the salt volume, the occurrence of weathering phenomena can also be controlled.

Analysing the episodes of rising total salt volume and plotting their starting and ending slope values of the relative humidity versus the temperature, we will obtain a chart of bands of environmental conditions in which the weathering will take place (Menéndez 2017: 22-30). In Figure 9, the chart of the weathering conditions for the limestone base material of the studied column is presented and added with a collection of dots representing the daily episodes of increasing and

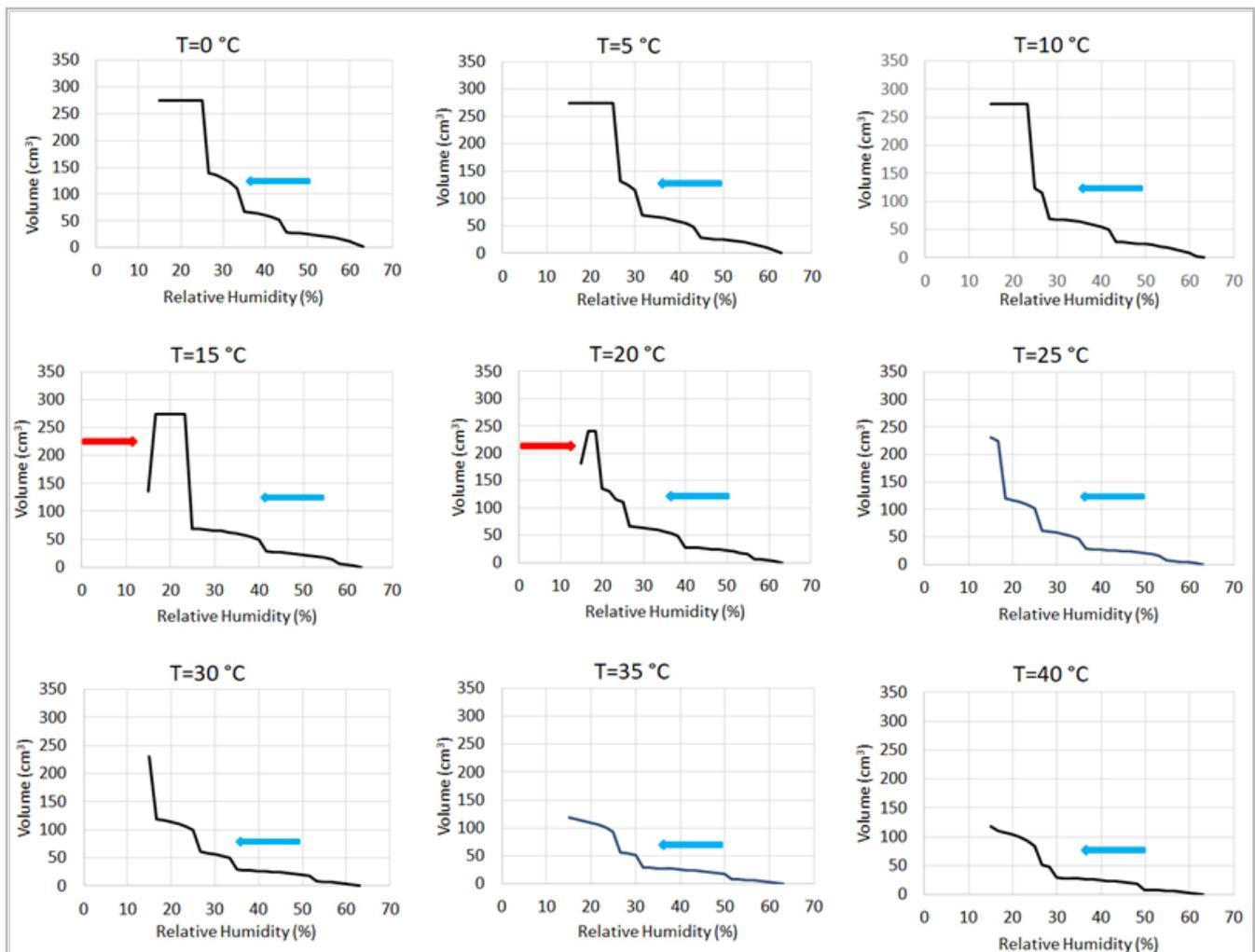


Figure 8.- Total salt volume and relative humidity at the studied temperatures. The red arrow indicates the conditions of total salt volume increase when the relative humidity rises and the blue arrow indicates the conditions of total salt volume increase when the relative humidity declines.

of decreasing relative humidity according to the daily data obtained inside the "Study room" where the weathered column stands. The collected environmental data does not span thru a full year but only from late October to mid-June. It encompasses the wettest months but not the driest ones. Between 20 and 22 measurements of temperature and relative humidity were taken each day and that data was used to calculate daily average temperature and average relative humidity. The daily average relative humidity was compared with the previous day average to find out if this variable suffered rise or a decline.

The data collected spawns for a total of 230 days of which the relative humidity declined in 113 and rose in 117 days. Since the conditions for weathering when the relative humidity rises are a very narrow band of relative humidity between 15% and 16,6% and only when those values of rising relative humidity occur between the temperature of 15 °C and 20 °C (see red lines in Figure 9). These values will hardly occur in the Portuguese climate and thus, we opted for not including the data points referring to the relative humidity rise because environmental conditions measured were too far from those values and the chart becomes cleaner and more discernible only with the data points related to the relative humidity decline. [Figure 9]

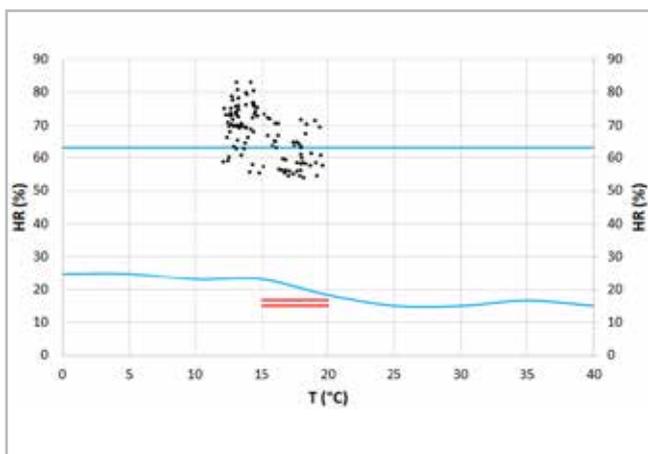


Figure 9.- Results obtained for the model of the weathered column on the "Study room". For each temperature, the blue lines represent the starting and ending values of relative humidity decline that induce salt volume increase. Between the red lines the same conditions for relative humidity rise. The black dots represent the days when relative humidity decline was detected in the Environment of the "Study room".

The black dots data points for the average temperature and average relative humidity corresponding to the days where a decline in relative humidity was detected, denounced that, among the 113 days in those conditions, 39 fell into a region of total salt volume increase shown between the highest and the lowest relative humidity lines (in blue). This means that in about 17% of all the monitored days, potential weathering could have taken place. In addition, the missing 135 days that roughly correspond to the summer and early autumn (mid-June to late October), are days with lower average relative humidity by comparison with the monitored days

(late October to mid-June) and thus, the data points will more easily fall into environmental weathering conditions.

This study, apart from confirming that the environmental conditions theoretically cause weathering events, can also help a conservator-restorer to decide the best temperature and relative humidity values that should help preventing the limestone base material weathering. If the environmental conditions could be kept within certain boundaries of very scarce increase and decrease of salt volume, the weathering could be controlled. In this case, the temperature could be easily kept between 10 °C and 20 °C since we know that the maximum and minimum temperatures measured were respectively 20.5 °C and 11.9 °C. On the other hand, for these temperatures, Figure 8 shows that the increase in total salt volume starts when the relative humidity falls below 63,14%. By controlling the relative humidity at 65% there will be no increase or decrease in total salt volume, and thus weathering is prevented.

Conclusions

In this conservative intervention, the aim was to resolve the degradation caused by the local salts, for which it was essential to know its cause and dynamism.

To obtain this in-depth knowledge, the methodological procedures adopted and the analytical procedures carried out were essential. Finally, the submission of the knowledge thus obtained, to this software resource, allowed us to consolidate everything and obtain scenarios forecast regarding the environmental conditions that best favor future conservation.

For now, it is known that by controlling the relative humidity at $65\pm 2\%$ in temperatures ranging from 10 °C to 20 °C those most harmful weathering events will be prevented, which is an important fact to take into account when maintaining the site.

References

- AIRES BARROS, L., (2002). Modes and mechanisms of rocks weathering. In: *Protection and Conservation of Cultural Heritage of the Mediterranean Cities*. Balkema Publishers, Lisse (The Netherlands), 3–9.
- CARDELL, C., DELALIEUX, F., ROUMPOPOULOS, K., MOROPOULOUS, A., AUGER, F., VAN GREEKEN, R., (2003). Salt-induced decay in calcareous stone monuments and buildings in a marine environment in SW France. *Construction and Building Materials* 17: 165–179. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(02\)00104-6](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(02)00104-6)
- FRANCESCHI, S., & GERMANI, L. (2005). *Manuale operativo per il restauro architettonico: metodologie di intervento per il restauro e la conservazione del patrimonio storico*. Tipografia del Genio Civile, 176-178.

- TSUI, N., FLATT, R.J., SCHERER, G.W., (2003). Crystallization damage by sodium sulphate. *Journal of Cultural Heritage* 4:109–115. [https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(03\)00022-0](https://doi.org/10.1016/S1296-2074(03)00022-0)
- ARNOLD, A., ZEHNDER, K., (1990). Salt weathering on monuments. In: *1 International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, Bari, Italy, 31–58.
- FITZNER, B., (1994). Porosity properties and weathering behaviour of natural stones. Methodology and examples. In: *Stone Material in Monuments: Diagnosis and Conservation*. Second Course, University School of Monument Conservation, Bari, Italy, 43–54.
- BENAVENTE, D., GARCÍA DEL CURA, M.A., FORT, R., ORDÓÑEZ, S., (2004). Durability estimation of porous building stones from pore structure and strength. *Engineering Geology* 74: 113–127. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.03.005>
- CHAROLA, A. E., (2000). Salts in the deterioration of porous materials. An overview. *Journal of the American Institute for Conservation* 39: 327–343. <https://doi.org/10.1179/019713600806113176>
- DOEHNE E, SELWITZ CX, CARSON D, DE TAGLE A. (2001) Damage to monuments from the crystallization of mirabilite, thenardite and halite: mechanisms, environment and preventive possibilities. In: *11th annual V.M. Goldschmidt conference*.
- HONEYCOMBE DB., (1990). Weathering and decay of Masonry. In: *Conservation of building and decorative stones*. 1998 edition. Oxford: Butterworth/Heinemann; 153–178.
- BRIMBLECOMBE P, GROSSI CM. (2007). Damage to buildings from future climate and pollution. *APT Bulletin J Preservation Technology*; XXXVIII (2–3): 13–8. https://www.researchgate.net/publication/271846514_Damage_to_Buildings_from_Future_Climate_and_Pollution
- RUIZ-AGUDO E, LUBELLI B, SAWDY A, VAN HEES R, PRICE C, RODRIGUEZ-NAVARRO C. (2010). An integrated methodology for salt damage assessment and remediation: the case of San Jerónimo Monastery (Granada, Spain), *Environmental Earth Sciences*; 63 (7–8): 1475–1486. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0661-9>
- GOUDI, A.S., VILES, H.A. (2008). Weathering processes and forms, in: T.P. Burt, R.J. Chorley, D. Brunnsden, N.J. Cox, A.S. Goidue (Eds.), *The History of the Study of Landforms of the Development of Geomorphology*, 4 Quaternary and Recent Processes and Forms (1890–1965) and the Mid-century Revolutions, Geological Society, Bath, UK, 129–164.
- STEIGER, M. AND HERITAGE, A. (2012). Modelling the crystallization behaviour of mixed salt systems: input data requirements. *12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone*, Columbia University, New York. <http://iscs.icomos.org/pdf-files/NewYorkConf/steiheri.pdf>
- PRICE, C.A., (2007). Predicting environmental conditions to minimize salt damage at the Tower of London: a comparison of two approaches. *Environmental Geology*, 52: 369–374. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00254-006-0477-9>
- BIONDA, D., (2005). *RUNSALT computer program*, 2002–2005 <http://science.sdf-eu.org/runsalt/>
- PUIM, P., GONÇALVES, T. D., BRITO, V., (2012). Controlo e prevenção de anomalias devidas à cristalização de sais solúveis em edifícios antigos. Em *Actas do 4º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios - PATORREB 2012*, Santiago de Compostela, 2. http://www-ext.inec.pt/drymass/pdfs/PP_TG_VB_Patorreb.pdf
- WINKLER, E., (2013). *Stone in architecture: properties, durability*. Springer Science & Business Media, 155–156. <https://www.springer.com/gp/book/9783642451546>
- FRANZIN, I., (2009). "La risalita capillare: il fenomeno della cristallizzazione salina a Venezia." Con particolare riferimento al marmo bianco di carrara, la pietra d'Istria e il marmo rosso di Verona, Corso di collaboratore restauratore dei beni culturali, Università Internazionale dell'Arte, Venezia, 12. <https://www.yumpu.com/it/document/read/16230078/il-fenomeno-della-cristallizzazione-salina-a-venezia-universita->
- LUBELLI, B., & VAN HEES, R. P. (2007). Effectiveness of crystallization inhibitors in preventing salt damage in building materials. *Journal of cultural heritage*, 8(3): 223. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2007.06.001>
- Norma UNI 10829:1999 Beni di interesse storico e artistico - Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione e analisi, 1–20.
- APHA, (1992). Method 4110: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, Code of Federal Regulations: 40 CFR 136.3(a), Washington. I
- ISO 11885:2007 Water quality — Determination of selected elements.
- SILVA B, RIVAS T, GARCÍA-RODEJA E, PRIETO B. (2007). Distribution of ions of marine origin in Galicia (NW Spain) as a function of distance from the sea. *Atmos Environ*; 41(4) 396–407. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.01.045>
- LANAS, J., & ALVAREZ-GALINDO, J. I. (2003). Masonry repair lime-based mortars: factors affecting the mechanical behavior. *Cement and concrete research*, 33 (11): 1867. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00210-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00210-2)
- MENÉNDEZ, B., (2017). Estimation of salt mixture damage on built cultural heritage from environmental conditions using ECOS-RUNSALT model, *Journal of Cultural Heritage*, 24: 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.11.006>

Author/s**Fernando Manuel da Conceição Costa**

fmccosta@ipt.pt

Techn&Art - Technology, Restoration and Arts Enhancement Center, Instituto Politécnico de Tomar

<https://orcid.org/0000-0002-2726-1679>

Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Tomar, Investigador Integrado do Techn&Art - Centro de Tecnologia, Restauro e Valorização das Artes. Responsável do laboratório de Conservação e Restauro de Pedra. Professor Especialista Artes Conservação e Restauro. Mestre em Recuperação do Património Arquitetónico e Paisagístico pela Universidade de Évora.

Fundação para a Ciência e Tecnologia. Atualmente é projetista de Conservação e Restauro em Património Imóvel Classificado (Portugal)

Artículo enviado el 17/09/2021
Artículo aceptado el 10/01/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1052>

**Manuel Alberto Nogueira Henriques Rosa**

manuel.rosa@ipt.pt

Techn&Art - Technology, Restoration and Arts Enhancement Center, Instituto Politécnico de Tomar

<https://orcid.org/0000-0003-0768-6714>

Licenciado pelo Instituto Politécnico de Tomar em Engenharia Química Industrial, especialização em Tecnologia, Mestre pela Universidade de Aveiro em Métodos Instrumentais e Controlo de Qualidade Analítico e Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade de Salamanca. Profissionalmente foi Professor Auxiliar de 2003 a 2016 e Professor desde 2016. Foi Diretor dos Cursos Associados/Fundamentais em Qualidade Ambiental de 2013 a 2019. É membro do Centro de Tecnologia, Restauração e Aprimoramento de Arte (Techn & Art), IPT e publica artigos científicos revisados por pares e desenvolve trabalhos científicos nas áreas de degradação por ação de sais em edifícios e esculturas de pedra.

**Mattia Canetto**

canettomattia@gmail.com

University of Cagliari, Faculty of Engineering and Architecture, Italy

Formou-se em Arquitetura pela Universidade de Cagliari e fez mestrado em Conservação do Património Arquitetónico e Ambiental pela Universidade de Cagliari.

**Maria Júlia Sobral da Fonseca**

juliafonseca.fcul@gmail.com

Projetista de Conservação e Restauro em Património Imóvel Classificado

<https://orcid.org/0000-0002-2043-8304>

Licenciada em Conservação e Restauro de Pedra e Mestre em Química Aplicada ao Património Cultural. Foi conservadora-restauradora no Mosteiro de Santa Clara-a-Velha (Coimbra) e Mosteiro de S. João Tarouca (Lamego) e também bolsista da

Evaluación del decaimiento volumétrico en probetas de piedra sometidas a ciclos de cristalización de sales, registrado mediante fotogrametría digital

Eden Vizcaino, Miguel Soto, Alejandro Acosta

Resumen: Se ha formulado la posibilidad de dar seguimiento al volumen de piedras deterioradas por ciclos de envejecimiento acelerado, como un complemento para los registros mediante el peso seco, pues este último se ve alterado en los primeros ciclos hasta un 10% por la formación de cristales internos en la red porosa de las muestras. Para esto, cinco muestras de piedras Tobas volcánicas se han deteriorado mediante ciclos de cristalización con una salmuera de sulfato de sodio concentrada al 12% a temperatura ambiente que oscila entre los 18 y 20 °C. La recolección de los datos se produce en dos categorías: primero en "ciclos" que involucran peso seco y volumen por fotogrametría; y segundo en "periodos" que involucra peso seco, volumen por principio de Arquímedes y volumen por fotogrametría. Con esto se ha observado que el volumen también es afectado por la cristalización de sales, presentando un incremento en los primeros tres ciclos, además se ha demostrado la capacidad de la fotogrametría para adquirir el volumen de objetos de pequeña escala consiguiendo un error porcentual inferior al 4%.

Palabras clave: Cristalización, fotogrametría, piedras, principio de Arquímedes, sulfato de sodio, volumen

The volumetric decay in worked stones subjected cycles of crystalization, uses through digital photogrametry

Abstract: The possibility of monitoring the volume of stones deteriorated by accelerated aging cycles has been formulated, as a complement to the records using dry weight, since the latter is altered in the first cycles by up to 10% due to the formation of internal crystals, in the porous network of the samples. For this, five samples of volcanic Tuff stones have been deteriorated through crystallization cycles with a 12% concentrated sodium sulfate brine at room temperature ranging between 18 and 20 °C. Data collection occurs in two categories: first in "cycles" involving dry weight and volume by photogrametry; and second in "periods" that involves dry weight, volume by Archimedes' principle and volume by photogrametry. With this, it has been observed that the volume is also affected by the crystallization of salts, presenting an increase in the first three cycles, in addition, the ability of photogrametry to acquire the volume of small-scale objects has been demonstrated, achieving a percentage error lower than that of 4%.

Keywords: Archimedes principle, crystallization, photogrametry, sodium sulfate, stones, volume

Avaliação do decaimento volumétrico em provetes de pedra submetidos a ciclos de cristalização de sais, registado por fotogrametria digital

Resumo: Foi apresentada a possibilidade de acompanhar o volume de pedras deterioradas por ciclos de envelhecimento acelerado, como um complemento para os registos através do peso seco, pois este último vê-se alterado nos primeiros ciclos até 10% pela formação de cristais internos na rede porosa das amostras. Para isso, cinco amostras de pedras Tobas vulcânicas foram deterioradas por ciclos de cristalização com uma salmoura de sulfato de sódio concentrada a 12% à temperatura ambiente que oscila entre 18 e 20 °C. A coleta dos dados ocorre em duas categorias: primeiro em "ciclos" que envolvem peso seco e volume por fotogrametria; e segundo em "períodos" que envolve peso seco, volume por princípio de Arquímedes e volume por fotogrametria. Observou-se que o volume também é afectado pela cristalização de sais, com um aumento nos primeiros três ciclos. Foi demonstrada a capacidade da fotogrametria para adquirir o volume de objetos de pequena escala, obtendo um erro percentual inferior a 4%.

Palavras-chave: Cristalização, fotogrametria, pedras, princípio de Arquímedes, sulfato de sódio, volume

Introducción

Se sabe que el sulfato sódico (SFS) está entre los agentes más destructivos en piedras, hormigón o ladrillos, el daño producido depende de la concentración de sal en la piedra y las características de su red porosa, así como las condiciones ambientales de humedad y temperatura (Angeli *et al.* 2010). De tal manera que se utiliza el SFS como un material estandarizado, cuya capacidad para cristalizarse al perder humedad por el contacto con el aire (eflorescencia) resulta útil para estudiar la resistencia de estos materiales porosos, por ejemplo: el mármol café extraído en Puebla, México tiene una resistencia considerada baja, pues se identificó de entre cuatro categorías como material Tipo III, al presentar un decaimiento entre el 5 al 10% tras aplicar 15 ciclos de cristalización de sulfato (CCS) con una salmuera concentrada al 14% de SFS (Morales *et al.* 2020). En otros casos se utiliza para corroborar la eficiencia de los recubrimientos de sacrificio ante la brisa marina, para ello se estudiaron revoques en múltiples capas con distintas granulometrías, simulando el entorno mediante CCS (Speri *et al.* 2017). La degradación producida por dicho fenómeno comúnmente se reconoce cuantitativamente en laboratorio mediante el peso seco de las muestras estudiadas, donde los primeros ciclos registran un incremento en peso de hasta el 10% respecto al valor inicial, esto se debe a la concentración de cristales producto de la sub-eflorescencia en la red porosa de las piedras (Padilla *et al.* 2017); lo cual va en sentido contrario del deterioro que se aprecia visualmente, proporcionando una incertidumbre entre el peso adquirido por los cristales y el peso perdido por la erosión generada en las muestras.

La adquisición volumétrica de las muestras de piedra resulta simple al inicio de una experimentación que involucra desgaste por CCS, pues se trata de cubos que se pueden medir con instrumentos convencionales de laboratorio; no obstante, conforme avanza la degradación se convierten en objetos cada vez más complejos, adoptando una configuración libre superficialmente, prácticamente imposible de llevar a cabo manualmente.

Si bien es posible recurrir al principio de Arquímedes para obtener el volumen de cualquier objeto sumergible, registrando el desplazamiento de un líquido dentro de un recipiente graduado o calcularlo por el empuje vertical que ejerce el agua sobre dicho elemento (El Cid 2014: 22), esto no es aplicable para elementos delicados, de resguardo o

protegidos por su valor histórico, como tampoco funcionaria para elementos de gran tamaño integrados en edificaciones. Para ello en la actualidad se han desarrollado un par de técnicas que permiten capturar formas 3D sin alterar los objetos de estudio, el escáner laser y la fotogrametría se han convertido en técnicas reconocidas y confiables (Janvier *et al.* 2016). Se tienen registros del año 2000 donde se utilizó una tecnología precursora de ambas, mediante la utilización de telémetros laser para triangular la posición de puntos que se hicieron corresponder con píxeles de fotografías, con lo cual fue posible reconstruir digitalmente la geometría detallada y los colores de grandes estatuas reconocidas históricamente, como El David de Miguel Ángel (Levoy *et al.* 2015). Desde entonces las aplicaciones para la adquisición 3D con estas tecnologías indirectas se han diversificado tanto en la representación de grandes elementos, como son: el resguardo del aspecto y color de edificaciones históricas en formatos digitales (Cipriani *et al.* 2015); en incorporar a un software la geometría deteriorada de columnas antiguas; para el análisis estructural mediante elementos finitos (Almac *et al.* 2016). Como también para estudios que requieren precisión a pequeña escala, por ejemplo: se ha demostrado que el escáner laser tiene el potencial de reconstruir la superficie de cubos de piedra deterioradas por CCS, con una desviación promedio en el orden de 0.1 milímetros (Janvier *et al.* 2016); mientras que la fotogrametría se considera como una técnica de mayor aprecio para los estudios que requieren analizar colores y texturas; también ha presentado buenos resultados en la generación de mallas para cuantificar volumen, con un error porcentual inferior al 6% (Figueroa & Pacheco 2016). Gracias a la automatización digital, la fotogrametría de corto rango ha conseguido algunas ventajas frente al escáner laser al momento de ejecutarla, pues resulta accesible al no requerir equipos sofisticados, fácil de realizar sin la necesidad de un entrenamiento previo, adaptabilidad a las capacidades de procesamiento disponibles y además captura colores útiles para el mapeo e identificación visual de otras patologías distintas al relieve (Soto *et al.* 2016).

El objetivo de la presente investigación es evaluar la capacidad de la fotogrametría para generar modelos virtuales, que permitan adquirir el volumen de objetos aislados con formas libres. De tal manera que sea útil para el seguimiento y valoración de la decadencia de los materiales porosos que son desgastados en laboratorio por cristalización de sales.



Figura 1.- Numeración de cinco muestras en su estado original.

Materiales y métodos

Para la experimentación se han utilizado cinco muestras cúbicas (~6.5 lado), actualmente estas piedras se extraen de los bancos de cantera ubicados principalmente en la comunidad de Valladares, en el municipio de Asientos, Aguascalientes (SMG 2020). Su utilización se encuentra presente en el patrimonio arquitectónico del estado de Ags, México, por ejemplo: El Templo de la Purísima Concepción cuenta con la fachada y torres construidas en Cantera Blanca (muestras #1); el Templo del Santuario de Nuestra Señora de Guadalupe, con elementos en Cantera Rosa (muestras #2 y #3); el Templo de San Antonio de Padua construido de Cantera Hermosa con tonos amarillos y verdes (muestras #4); por último la cantera naranja presente en el actual edificio del Tribunal Electoral del Estado de Ags. En el transcurso de este artículo se hace referencia a las muestras por su color seguido por una numeración que se aprecia en la figura 1.

Estas muestras de piedra se encuentran dentro del grupo geológico de las "Tobas volcánicas" (López *et al.* 2018); una roca con textura afanítica cuyo origen ígneo resulta de la consolidación de cenizas volcánicas, estas partículas diminutas (diámetros <1 mm) se depositaron y compactaron como si de una roca sedimentaria se tratara (Heller & De sola 1967), algunas de ellas cuentan con vestigios de flujos piroclásticos atrapados en forma de piedras pómez, formando partículas de mayor tamaño (clastos de 5 a 20 mm) [ver Figura 2]. Las distintas características físicas y comportamiento hidromecánico que corresponden a cada una de ellas se muestran en la tabla 1.

Las muestras fueron deterioradas por envejecimiento acelerado siguiendo la metodología utilizada por (Angeli *et al.* 2010; R. Janvier *et al.* 2016) quienes siguen la norma europea "EN 12370" que es una prueba para la resistencia de las rocas ante la cristalización de sales. Donde se pueden rescatar los siguientes tres pasos:

- 1-Saturación de las muestras de piedra durante dos horas, utilizando una salmuera que cuenta con una concentración de Sulfato de Sodio (SFS) al 12% respecto al peso en gramos del agua destilada.
- 2-Secado en horno durante 16 horas a una temperatura

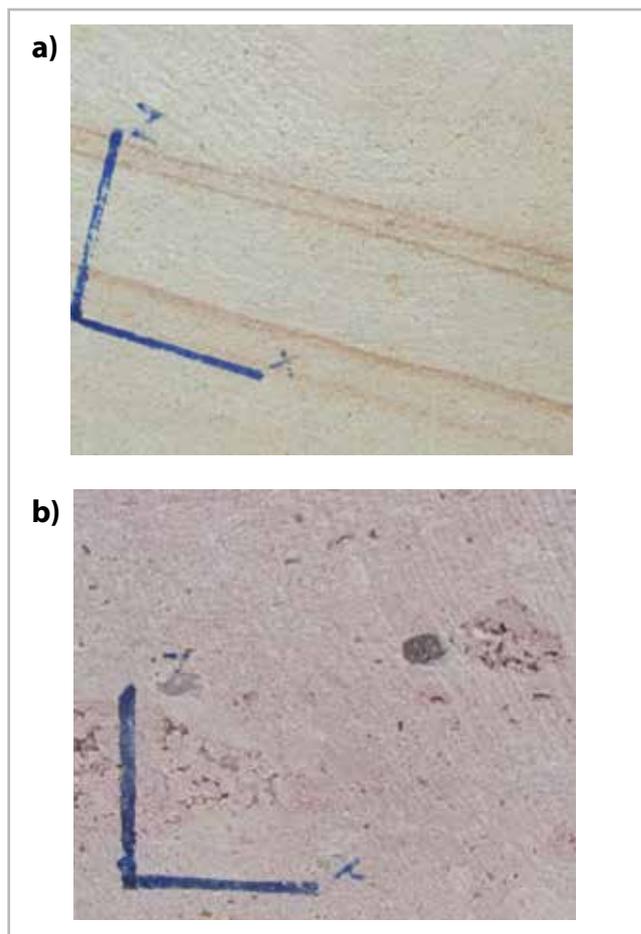


Figura 2.- Ampliación de las muestras, para apreciar las texturas y conformación de las muestras. a) Textura afanítica; b) Textura afanítica/piroclástica.

- de 100 °C para garantizar el secado las muestras.
- 3-Enfriamiento de las muestras dejando por lo menos dos horas a temperatura ambiente.

Para esta experimentación el conjunto de estos tres pasos (1, 2, 3) comprenden un "Ciclo" (C), registrando uno de cada tres de ellos por peso seco (4) y fotogrametría (5):

- 4-Tras el secado en horno posterior a los tres ciclos, inmediatamente se cuantificó el "peso seco" de las muestras por separado, para evitar alteraciones por

Muestra:	Peso Seco (g)	Porosidad (%)	Absorción (%)	Densidad aparente (g/cm3)	Densidad matriz (g/cm3)	Volumen (cm3)
Blanca #1	452.53 g	30.92	18.71	1.65	2.39	274.22
Gris #2	452.60 g	24.59	15.20	1.62	2.14	280.19
Rosa #3	517.25 g	13.43	7.05	1.90	2.20	272.11
Amarilla #4	469.60 g	25.93	14.99	1.73	2.33	271.70
Naranja #5	433.69 g	21.70	14.03	1.55	1.97	280.69

Tabla 1.- Características físicas e hidromecánicas originales.

humedad ambiental.

5-Posteriormente se limpiaron usando cepillo con cerdas de acero para la sesión fotográfica que permite generar el modelo digital, técnica que se describe en el apartado "Digitalización por fotogrametría".

Para comparar los resultados de volumen se utilizó el principio de Arquímedes; durante la experimentación fue evidente que este proceso altera el proceso, al saturarlas (6) se disuelven los cristales de SFS, por lo que las muestras pierden peso y liberan algunas partículas atrapadas, por ello fue necesario crear otro punto de medición que se denomina "Periodo" (P):

6-Una vez digitalizada cada muestra, se saturaron las piedras en agua destilada durante 24 horas.

7-Utilizando una báscula eléctrica con precisión de centésimas de gramo se registra el peso saturado (w_a), el peso sumergido (w_s) y el peso seco (m), datos que son necesarios para calcular la densidad aparente (d_p) de las muestras, conociendo la densidad del agua (d_w) se puede aplicar la formula: $d_p = (m * d_w) / (w_a - w_s)$

8-Al finalizar, se elabora un modelo digital utilizando la fotogrametría como lo explica el paso cinco (5) esta vez registrando el volumen para un "Periodo".

— Digitalización por fotogrametría

El proceso de fotogrametría consta de dos etapas: primero la parte física, donde se capturaron las fotografías utilizando una cámara convencional con una resolución de 12 megapíxeles, se asignaron las referencias físicamente en coordenadas (X, Y, Z); y segundo el procesamiento mediante el software Agisoft Photoscan® (APS).



Figura 3.- Representación del proceso de ciclos de cristalización de sulfato y periodos de registros.

1-Para la obtención de las fotografías se implementó un estudio fotográfico que consta de un fondo de color sólido mate, una base giratoria y un soporte blanco donde se trazaron tres puntos con las siguientes coordenadas:

Nombre	eje "X"	eje "Y"	eje "Z"
Point 1	0	0	0
Point 2	0	7.78	0
Point 3	7.78	7.78	0

Tabla 1.- Características físicas e hidromecánicas originales.

2-Al girar la base se capturo una fotografía aproximadamente a cada 22.5°, con lo que se obtienen 16 fotos para completar un giro de 360°, esto se repite a tres niveles diferentes obteniendo un total de 48 imágenes por cada sesión ver figura 4.

Al cargar las fotografías en la plataforma del programa APS, se sigue un flujo de trabajo para completar el procesamiento de las imágenes:

3- Orientación de fotos en calidad alta, con 20 mil puntos se obtuvieron mejores resultados.

4-Incorporar y vincular las coordenadas mediante marcadores, la ubicación se asigna visualmente en un 25% de las imágenes, el resto es detectado automáticamente por la aplicación.

5-Generar nube de puntos densa, la calidad baja es suficiente para la escala de las probetas.

6-El recorte de puntos por selección de color se facilita gracias al fondo oscuro mate del estudio, eliminando elementos extraños y perfeccionando los bordes en los modelos.

7-Para finalizar, APS genera una malla mediante la nube de puntos densa, con la opción de recortar y reparar posibles huecos.

Los valores obtenidos de volumen se cuantificaron en otro software, para este caso en SketchUp® y registrados en una tabla de cálculo para su comparación.

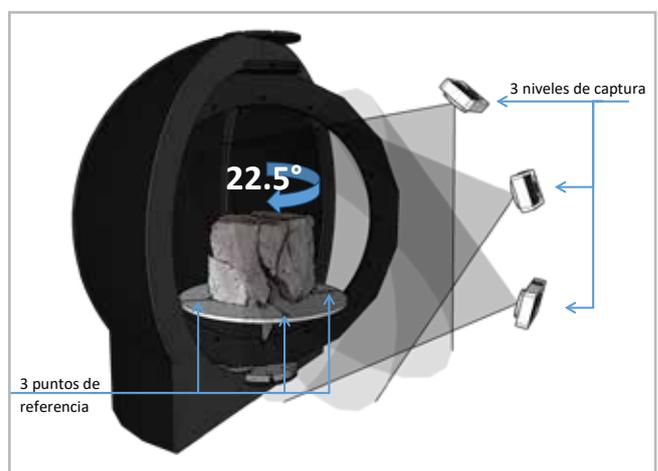


Figura 4.- Estudio fotográfico, representación de puntos de referencia, giro y niveles de captura fotográfica.

Resultados y discusión

Como se aprecia en la Figura 7, la decadencia de las piedras tras la aplicación de los ciclos de envejecimiento acelerado se percibe visualmente como un fenómeno acumulativo a partir del ciclo 3. Todas las muestras presentaron el característico emblanquecimiento superficial por la cristalización de sulfatos, junto con el desprendimiento progresivo de partículas pequeñas (< 5 mm); algunas muestras colapsaron o perdieron segmentos importantes por la presencia de partículas grandes (> 5 mm) dependiendo de los clastos integrados, que al ser de diferente tamaño y dureza pueden simplemente desprenderse como sucedió en la piedra Rosa #3 (la probeta pierde una esquina en la transición del P1 al C6); o generar la fracturación de la muestra Gris #2 (Se desarrollaron fracturas del C6 al P2); el último espécimen, la probeta #4 perdió la cohesión entre sus partículas, corresponde a la cantera hermosa de Aguascalientes [Figura 5].

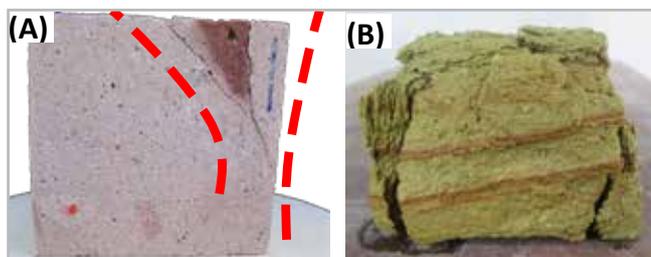


Figura 5.- (A) Separación de clasto con diferentes propiedades. (B) Pérdida de cohesión entre partículas.

— Registro de volumen por fotogrametría

Siguiendo los valores de volumen obtenidos mediante fotogrametría se aprecia un decaimiento variable, que presenta incluso ganancias en los primeros 3 ciclos, este incremento puede ser resultado de la cristalización superficial en forma de escamas y crestas que resistieron el cepillado, pues la forma y los bordes de las muestras Gris #2 y Naranja #5 se mantienen intactas, mientras que el volumen incrementó 5 y 7 cm³ respectivamente.

En otros casos el incremento de volumen se da por la dispersión o expansión del material, este fenómeno está demostrado que no es exclusivo de la humedad interactuando dentro de los materiales sedimentarios arcillosos, sino que también es producto de la presión interna generada por la sub eflorescencia desarrollada en la red porosa de las piedras (Wedekind *et al.* 2013) se estima que esto sucedió en las muestras Blanca #1 y Amarilla #4, puesto que las piedras incrementaron o mantuvieron su volumen a pesar de que la degradación es evidente por los bordes redondeados; solo la muestra Rosa #3 ha mantenido su volumen y su forma hasta el ciclo 3. A partir del Periodo 1 se aprecia en todas las muestras un decaimiento volumétrico progresivo [Figura 6].

— Registro de volumen por principio de Arquímedes

Mientras que los valores para el volumen mediante principio de Arquímedes se registraron únicamente

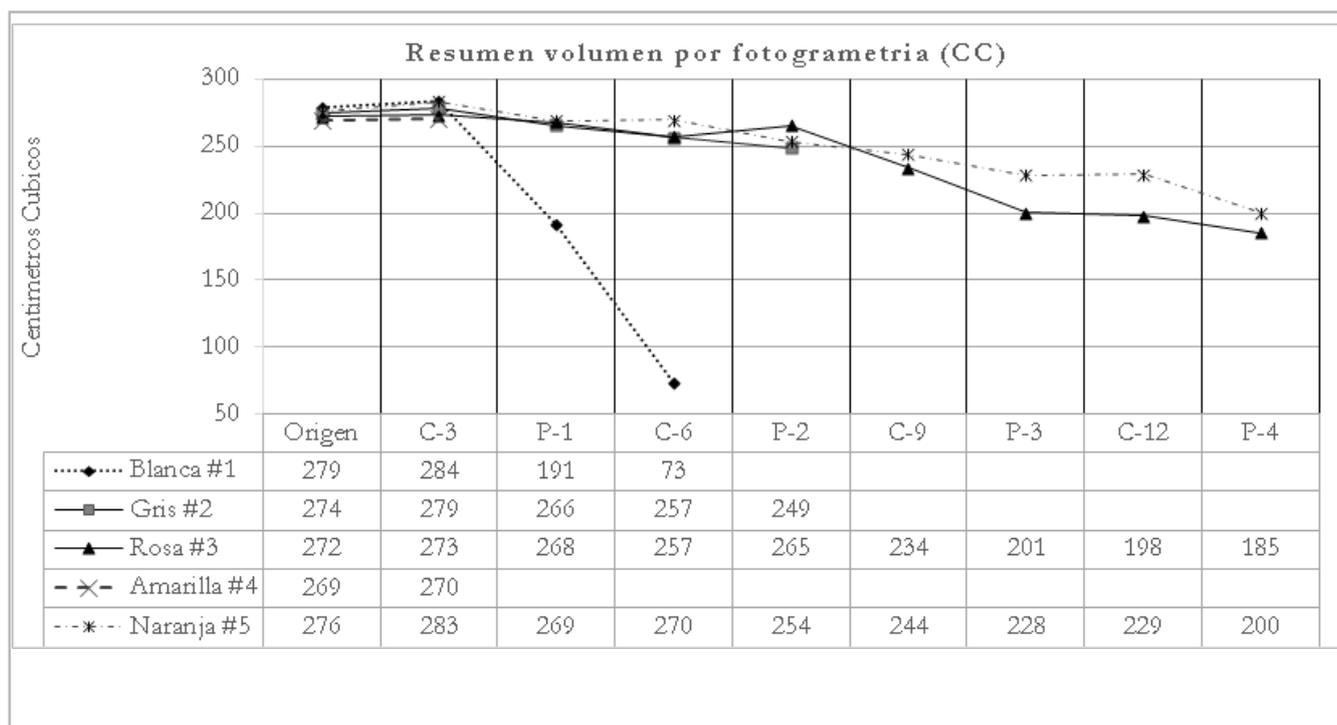


Figura 6.- Resumen de los registros obtenidos por fotogrametría.

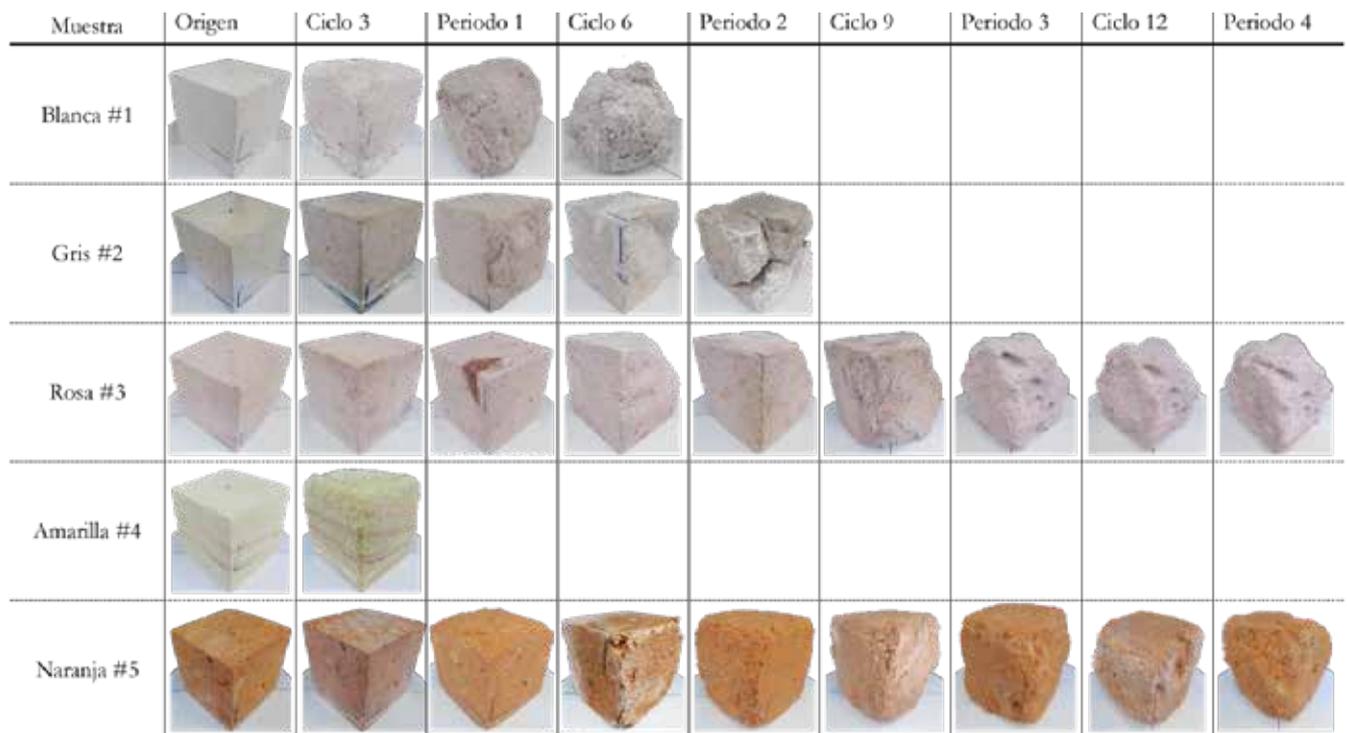


Figura 7.- Registro cronológico del envejecimiento acelerado en las muestras.

en las columnas denominadas como periodos (P), puesto que las muestras sufren una degradación tras la desalinización durante el proceso, dichos resultados se muestran en la Figura 8: en este gráfico se puede encontrar que el decaimiento volumétrico siempre es progresivo, pues al retirar parte importante de los cristales de sulfato alojados en la red porosa de las muestras se consigue eliminar parte de las alteraciones y expansión que generan los cristales; la muestra Rosa #3 ha mantenido su volumen inicial hasta el primer periodo. Las muestras #2 y #5 presentan un leve decaimiento inicial en comparación de la piedra #1 que perdió gran parte de su volumen en esta etapa de la experimentación; por último, para el caso de la Amarilla #4 al perder su integridad en este proceso de eliminación de cristales, ya no fue posible registrar resultados.

— Registros del peso seco

Cabe recalcar que el seguimiento del peso seco en esta experimentación no sigue la normativa, por tanto esta información no es representativa para identificar la resistencia de las muestras ante los CCS.

El peso seco a lo largo de la experimentación puede presentar ganancias tras los ciclos de cristalización de sulfato y generalmente los decrementos importantes se aprecian tras la desalinización ocasionada en los periodos de registros mediante principio de Arquímedes [ver Figura 9]; en general este comportamiento se repite a lo largo de la experimentación, siendo mas evidente y prolongado en la muestra Naranja #5, que junto con la Rosa #3 fueron las mas resistentes; la muestra Gris #2 completo el Periodo 2 con una

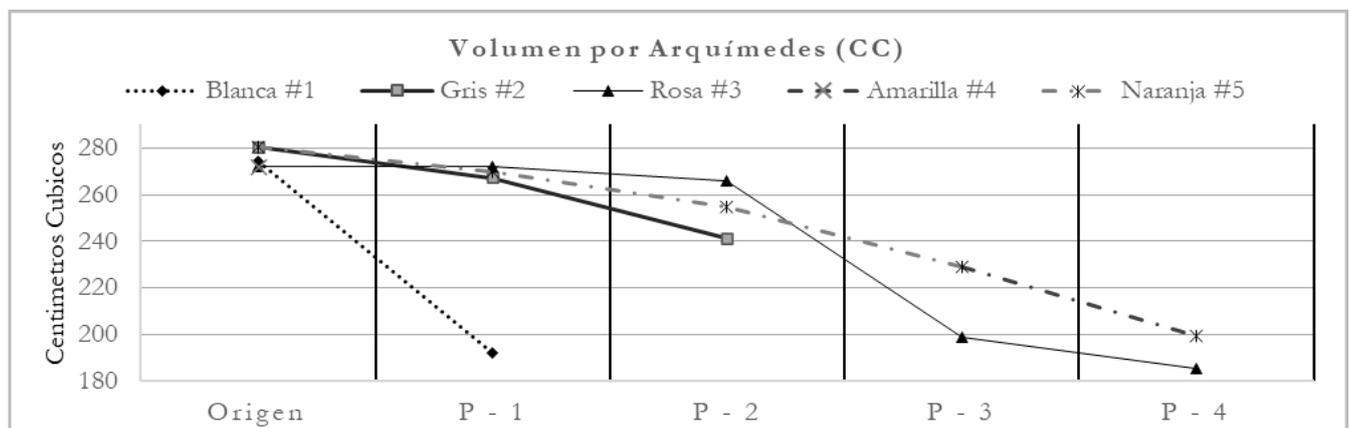


Figura 8.- Monitoreo del volumen por Arquímedes.

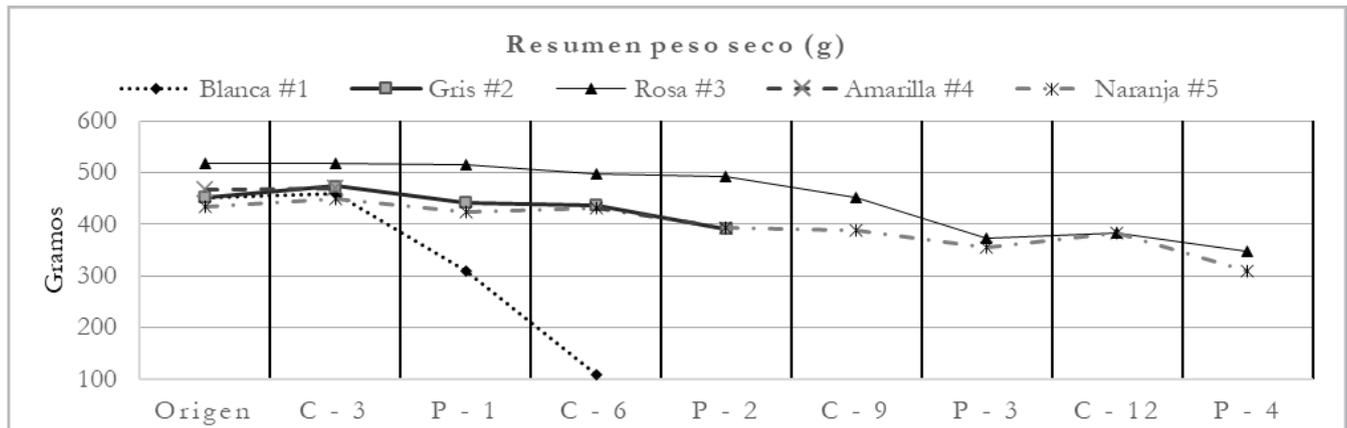


Figura 9.- Monitoreo del peso seco.

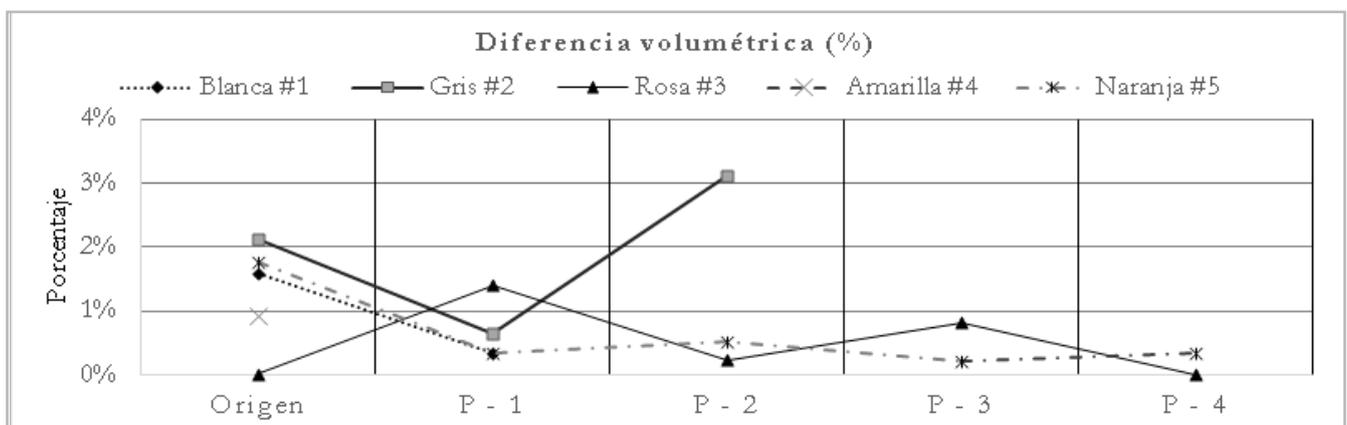


Figura 10.- Diferencia porcentual entre registros de volumen.

trayectoria y un peso final similar a la #3 y #5; mientras que la muestra Blanca #1 tras ganar peso en el ciclo 3, pierde peso considerablemente sin distinción de ciclo o periodo. La piedra #4 solo registra un leve incremento de peso en el ciclo 3.

— Comparativa de volumen

Contra poniendo los resultados de la medición de volumen por principio de Arquímedes [Figura 8] como valor real, y en segundo plano la medición por fotogrametría [Figura 6] como valor a comparar, se tienen una gráfica comparativa con indicadores para cada piedra, que demuestran gráfica y numéricamente la confiabilidad que la técnica de fotogrametría representa para la cuantificación del volumen, obteniendo un margen de error inferior al 4% [Figura 10]. Donde se puede apreciar en el caso de Blanca #1 y Naranja #5, que la medición por fotogrametría adquiere mayor precisión conforme la experimentación transcurre acercándose cada vez más al volumen que se obtiene por principio de Arquímedes; no obstante, se tiene para el caso de Gris #2 una medición alejada del valor real, puesto que la última degradación de esta muestra presenta agrietamientos que generan oquedades aisladas de la superficie aparente.

Conclusiones

La baja resistencia ante los CCS de las muestras #1 y #4, puede estar relacionada con su baja dureza, ambas son conocidas por ser un material deleznable. Siguiendo las observaciones de (López *et al.* 2018), estas muestras son menos resistentes a los CCS, debido a que presentan una porosidad y absorción mayor al resto de las muestras, ya que estas características permiten a las piedras incluir una cantidad mayor de cristales en su interior, los cuales son responsables de la degradación. Mientras que el resto de muestras con una absorción y porosidad menor, presentaron una resistencia mayor y las alteraciones representativas resultan de la separación de clastos con diferentes tamaños y dureza.

El peso seco al no seguir la norma, no puede utilizarse como información relevante en cuanto a la resistencia de los materiales aquí estudiados. Sin embargo, el proceso que se ha utilizado deja evidencia de que las muestras de piedra se ven afectadas tanto por la formación de cristales de SFS, como por el proceso de eliminación de los mismos. En cuanto a la utilización de fotogrametría de corto rango, se ha demostrado que es posible registrar el volumen de elementos deteriorados que adoptan formas libres e

irregulares mediante esta técnica, como una alternativa que permite la adquisición volumétrica con una precisión considerablemente baja (rango de error menor al 4%), pues con ello se observó: que algunas de las muestras de piedra al ser sometidas a ciclos de envejecimiento acelerado mediante la cristalización de sulfatos inicialmente incrementen su volumen (en sentido inverso considerando la degradación aparente), posiblemente por la expansión del material generado por los cristales al interior de la red porosa como lo explican (Wedekind *et al.* 2013). De igual manera, mediante el seguimiento que se dio al decaimiento de las probetas, se encontraron algunas debilidades de la técnica de fotogrametría para adquirir los modelos 3D: frente a cuerpos regulares lisos y de textura uniforme (como es el prisma original de las muestras); ante la aparición de elementos finos negativos (como son la aparición de grietas); y por último las depresiones estrechas y alargadas (poros y huecos).

Implementar la fotogrametría digital de corto rango supone un avance en la comprensión del comportamiento de las eflorescencias en los elementos patrimoniales de piedra o materiales porosos, al permitir registrar el volumen de los objetos de estudio de manera indirecta, sin alterar la composición y naturaleza de los elementos. Con esta técnica sería posible evaluar las afectaciones in situ del patrimonio construido con relación a su superficie y volumen, identificando cuantitativamente la degradación de los elementos.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México, por los recursos destinados a los distintos programas de posgrado. De igual manera a la Universidad Autónoma de Aguascalientes por proporcionar sus instalaciones y la colaboración de su equipo de investigadores.

Referencias

ALMAC, U., PEKMEZCI, P. & AHUNBAY, M. (2016). "Numerical Analysis of Historic Structural Elements Using 3D Point Cloud Data", *The Open Construction & Building Technology Journal*, 10: 233-245. <https://doi.org/10.2174/1874836801610010233>

ANGELI, M. *et al.* (2010). "Influence of temperature and salt concentration on the salt weathering of a sedimentary stone with sodium sulphate". *Engineering Geology*, 115: 193-199. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.06.001>

ARCE, L. P., DOEHNE, E. & PINCHIN, S. (2008). "Magnesium sulfate salts and historic building materials". *Materiales de Construcción*, 58: 125-142. <https://doi.org/10.3989/mc.2008.v58.i289-290.77>

CIPRIANI, L., FANTINI, F. & BERTACCHI, S. (2015). "El color en las piedras y los mosaicos de Ravena: Nuevas imágenes de los

monumentos antiguos a través de fotogrametría no convencional de última generación". *Expresión gráfica arquitectónica*, 26: 190-201. <https://doi.org/10.4995/ega.2015.4052>

FIGUEROA, M. & PACHECO, J. (2016). *Evaluación y calibración de las técnicas de fotogrametría digital aplicadas a la caracterización geométrica de obras patrimoniales*, Aguascalientes: UAA. <http://hdl.handle.net/11317/658>

HELLER, R. & DE SOLA, O. (1967). *Geología y ciencias afines*. Washington, D.C.: American Geological Institute.

JANVIER, R., BRUNETAUD, X., BECK, K. & JANVIER, S. (2016). "The potential of laser scanning to describe stone degradation". *13th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone*, Paisley, Escocia, University of the West of Scotland, 2: 353-360.

JUAREGUI, M., JUAREGUI, L., Chacón, L. & VÍLCHEZ, J. (2013). "Modelado y visualización tridimensional de la estatua de María Lionza". *Boletín Antropológico*, 31: 66-72. www.redalyc.org/articulo.oa?id=71226945002

LEVOY, M. *et al.* (2015). *The Digital Michelangelo Project: 3D Scanning of Large Statues*. <http://graphics.stanford.edu/projects/mich/> [consulta: 03/2021].

LÓPEZ, R., WEDEKIND, W., AGUILLÓN, A. & SIEGESMUND, S. (2018). "Thermal expansion on volcanic tuff rocks used as building stones: examples from Mexico". *Environmental Earth Sciences*, 77: 77-89. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7533-0>

MORALES, M., VELASCO, E. & RAMIREZ, J. (2020). "Estudio comparativo de alteración del peso en el mármol tipo café tabaco mediante ensayo de cristalización de sales por sulfato de sodio". *Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 24: 69-80. <https://doi.org/1137-2729>

NAPOLITANO, R. & GLISIC, B. (2017). "Minimizing the adverse effects of bias and low repeatability precision". *Journal of Cultural Heritage*, 31: 46-52. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.11.005>

PADILLA, R., PACHECO, J., LÓPEZ, R. & ORENDAY, E. (2017). "Rock deterioration in the masonry walls of the Cathedral Basilica of Aguascalientes, México". *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 34: 138-149. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2017.2.466>

SMG (2020). *Panorama Minero del estado de Aguascalientes. Servicio Geológico Mexicano*. <http://www.sgm.gob.mx/pdfs/AGUASCALIENTES.pdf>

SOTO, Z., LOPEZ, D., GARAY, A. & VIZCAINO, H. (2016). "Digitalisation and documentation of stone deterioration, using close-range digital photogrammetry". *13th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone*, Paisley, Escocia, University of the West of Scotland, 1051-1058.

FALCHI, L., SPERI, L., BALLIANA, E., ZUENA, M., & ZENDRI, E.

(2017). Behaviour of brick-NHL render systems in presence of NaCl solution. *Ge-conservación*, 11, 157-164. <https://doi.org/10.37558/gec.v11i0.468>

UNIVERSIDAD DE GRANADA (2017). *Propiedades de las Rocas de Construcción y Ornamentación*. <http://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauracion/teoria/TEMA05.htm> [consulta: 04/2021].

WEDEKIND, W. et al. (2013). "Weathering of volcanic tuff rocks caused by moisture expansion". *Environmental earth sciences*, 69: 1203-1224. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-2158-1>

Autor/es



Isaías Edén Vizcaíno Hernández
edenv15@gmail.com
Universidad Autónoma de Aguascalientes,
México
<https://orcid.org/0000-0003-1477-4384>

Licenciado en Arquitectura en 2015 por Instituto Tecnológico Superior de El Grullo, y en 2018 Maestría en Ingeniería Civil: Construcción por la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Ha disfrutado de dos estancias de investigación con "Diagnóstico y evaluación de daños en monumentos históricos de piedra" Universidad Autónoma de San Luis Potosí en 2017; y con "XXV Verano de la Investigación Científica" en la Academia Mexicana de Ciencias, A.C. en 2015. Ha participado en numerosos congresos nacionales e internacionales. Su proyecto de investigación es "Diagnóstico y evaluación de daños en monumentos históricos de piedra"



Miguel Ángel Soto Zamora
miguelsotoic86@gmail.com
Universidad Autónoma de Aguascalientes,
México

Doctorado en Ciencias de los Ámbitos Antrópicos en 2019, Maestría en Ingeniería Civil: Construcción en 2016 y Licenciatura en Ingeniería Civil en 2013. Lleva más de 10 años como profesor en la Universidad Autónoma de Aguascalientes con el tema "Topografía, mecánica de materiales, costos y procesos de construcción". Ha publicado algunos artículos de revista y capítulos de libro. También ha participado en diferentes congresos especializados y ha dirigido 24 tesis. sobre los temas de Materiales, Edificios patrimoniales, Análisis Estructurales en la Universidad Autónoma de Aguascalientes, México.



Alejandro Acosta Collazo
aacosta@correo.uaa.mx
Universidad Autónoma de Aguascalientes,
México
<https://orcid.org/0000-0002-8655-2038>

Doctorado en Arquitectura por la Universidad Nacional Autónoma de México en 2005; Maestría en Planeamiento Urbano Regional por la Universidad de Guanajuato en 2004; Maestría en Restauración de Sitios y Monumentos por la Universidad de Guanajuato en 1997 y Licenciatura en Arquitectura por la Universidad Autónoma de Aguascalientes en 1993. Tiene una amplia experiencia como docente, profesionista y profesor investigador Interino en la Universidad Autónoma de Aguascalientes desde 1999 a 2009. Tiene publicados varios artículos de revista, así como, capítulos de libros. Ha dirigido 8 tesis en torno el tema "Estudios sobre la experiencia del entorno" y participa en varios proyectos de investigación bajo el tema "Urbanidad y patrimonio histórico" y "Urbanidad, movilidad y patrimonio industrial histórico".

Artículo enviado el 28/05/2021
Artículo aceptado el 22/01/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1006>



El paisaje como proyecto de vinculación patrimonial: una propuesta metodológica

Marina López Sánchez, Mercedes Linares Gómez del Pulgar, Antonio Tejedor Cabrera

Resumen: Este texto plantea una reformulación de las relaciones tradicionales entre el territorio y el patrimonio a través del paisaje, sugiriendo que en el punto de convergencia entre estos tres paradigmas se encuentra un espacio estratégico donde poder desarrollar mecanismos y argumentos para mejorar la competitividad territorial y el desarrollo socioeconómico de forma sostenible. Se propone, en concreto, una línea metodológica para proyectar paisajes sensibles -que acogen un elevado número de permanencias históricas difusas- a partir de una estrategia cuyo objetivo es que el patrimonio territorial, correctamente interrelacionado, pueda construir una nueva experiencia de paisaje basada en el descubrimiento de formas pretéritas de ocupar y aprovechar el territorio. La cartografía se emplea como el instrumento de análisis, síntesis y proyecto que permite derivar la investigación del paisaje histórico en una estrategia territorial construida a partir de rutas culturales.

Palabras clave: paisaje, patrimonio cultural, territorio, ruta cultural, dinamización social, cartografía

The landscape as a heritage linkage project: a methodological proposal

Abstract: This text proposes a reformulation of the traditional relationships between territory and heritage through landscape, suggesting that at the point of convergence between these three paradigms lies a strategic space where mechanisms and arguments can be developed to improve territorial competitiveness and socioeconomic development in a sustainable manner. Specifically, a methodological line is proposed to project sensitive landscapes -which host a high number of diffuse historical permanences- based on a strategy whose objective is that the territorial heritage, correctly interrelated, can build a new landscape experience based on the discovery of past ways of occupying and using the territory. Cartography is used as the instrument of analysis, synthesis and design that allows the research of the historical landscape to be translated into a territorial strategy built on the basis of cultural routes.

Keywords: landscape, cultural heritage, territory, cultural route, social dynamization, cartography

A paisagem como projeto de vinculação patrimonial: uma proposta metodológica

Resumo: Este texto propõe uma reformulação das relações tradicionais entre o território e o património através da paisagem, sugerindo que no ponto de convergência entre estes três paradigmas se encontra um espaço estratégico onde se pode desenvolver mecanismos e argumentos para melhorar a competitividade territorial e o desenvolvimento socioeconómico de forma sustentável. Propõe-se, nomeadamente, uma linha metodológica para projetar paisagens sensíveis, que acolhem um elevado número de permanências históricas difusas, a partir de uma estratégia cujo objectivo é que o património territorial, corretamente interrelacionado, possa construir uma nova experiência de paisagem baseada na descoberta de formas pretéritas de ocupar e aproveitar o território. A cartografia é utilizada como instrumento de análise, síntese e projeto que permite derivar a investigação da paisagem histórica numa estratégia territorial construída a partir de rotas culturais.

Palavras-chave: paisagem, patrimonio cultural, território, rota cultural, dinamização social, cartografia

Introducción

La noción de patrimonio se encuentra en constante evolución. Actualmente existe una cierta unanimidad entre las reflexiones teóricas del patrimonio sobre la conveniencia de una visión integradora del mismo (Martín Jiménez 2016). El énfasis que, desde finales del siglo XX (UNESCO 1998; 2013), se ha puesto en la idea del patrimonio como un recurso clave de sostenibilidad ha provocado, entre otros aspectos, una tendencia hacia modelos teóricos y prácticos que permitan comprender el patrimonio de forma sistémica y en clave territorial (Castillo 2009). A fin de cuentas, si aspiramos a que el patrimonio constituya un vector para el desarrollo sostenible, el tratamiento integral de todos los elementos constitutivos y sus relaciones territoriales es fundamental (Feria 2013). Y dada esta tendencia actual a la interrelación de bienes de todo tipo y naturaleza, resulta lógico que la noción de paisaje, impulsada por el Convenio Europeo del Paisaje, se haya alzado como una aliada estratégica para la esfera patrimonial (Fernández Cacho 2019; Silva Pérez y Fernández Salinas 2017). Esta asimilación del paisaje en el ámbito del patrimonio permite, más allá de la incorporación del 'paisaje cultural' como una nueva figura de protección, obtener un canal de comunicación eficaz entre el sector patrimonial y la ordenación, planificación e intervención en el territorio (Manero y García 2017; Poli 2020). Y, a través de este vínculo, es posible resolver situaciones aun insuficientemente atendidas en relación a nuestro legado patrimonial como la que describimos a continuación.

La extensa malla de manifestaciones identitarias que define, en cada lugar, su paisaje característico está compuesta por bienes patrimoniales singulares de especial valor histórico y artístico, pero también por un extenso conjunto de permanencias históricas dispersas en el territorio que, si bien no poseen la singularidad de las piezas más sobresalientes, expresan de forma integrada la particularidad de un territorio y su historia. Estas huellas patrimoniales no pueden ser amparadas por el aparato de protección patrimonial porque colapsarían un sistema que está enfocado a salvaguardar lo singular, pero sí que podrían atenderse en el marco de una estrategia de planificación territorial. Promover estrategias que reconocen y valorizan la estructura patrimonial del territorio que subyace bajo cualquier paisaje, más allá de sus componentes más singulares, es vital porque asegura la permanencia de los rasgos diferenciadores de los territorios y contribuye, por tanto, a mantener la diversidad y la riqueza cultural. El reto aquí está en saber leer e interpretar una malla patrimonial que en muchas ocasiones se encuentra oculta entre desarrollos urbanos contemporáneos o, sencillamente, permanece anónima debido al menor valor que se atribuye a las pequeñas piezas patrimoniales dispersas.

Para llevar a cabo esa deseable estrategia de reconocimiento y valoración de la estructura patrimonial del territorio, el paisaje constituye una oportunidad sin precedentes (Mata y Ferrer 2021). Como canalizador de la relación

entre patrimonio y territorio (Capel 2014), el paisaje puede emplearse como escenario reflexivo y operativo básico para llevar a la práctica una visión del patrimonio cultural como si se tratara, como expresa José María Ballester (2016), de una 'inteligencia del territorio'. Dicho de otro modo, si empleamos la mirada integradora que nos proporciona el paisaje para detectar los elementos, relaciones, procesos y manifestaciones que expresan conjuntamente el valor cultural de un territorio, estaremos ante una auténtica vía de acción para poder leer e interpretar el patrimonio como una estructura territorial. Y todo ello sin renunciar, por supuesto, a los mecanismos de protección que siempre será necesario aplicar sobre determinados bienes, incluso paisajes, que por su singularidad requieran medidas de tutela especiales. Una visión territorial del patrimonio, muy lejos de anular a la consolidada aproximación que se centra en proteger aquellos bienes especialmente significativos, la complementa y convive con ella. Permite que las manifestaciones identitarias menores de los paisajes también sean consideradas en los diferentes escenarios de toma de decisiones con incidencia territorial (Rotondo *et al.* 2016; Troitiño 2011).

Bajo esta premisa, este texto presenta una propuesta metodológica para que la extensa malla de manifestaciones patrimoniales de un territorio, correctamente interrelacionada, pueda construir una nueva experiencia de paisaje basada en el descubrimiento de formas pretéritas de ocupar y aprovechar el territorio. La estrategia que se ha desarrollado aspira, en primer lugar, a entender el patrimonio como un sistema territorial y, en segundo lugar, a emplear las conexiones de ese sistema para trazar una estrategia territorial con impactos positivos en términos sociales, de sostenibilidad y de movilidad lenta. En concreto, la metodología tiene por objetivo entender de forma estructurada, a través del estudio histórico del paisaje, la compleja malla de manifestaciones patrimoniales de un territorio. Y pretende, a partir de esa comprensión estructurada del contenido y el significado patrimonial del territorio, plantear nuevas rutas culturales que favorezcan su valorización, su disfrute, en definitiva, su desarrollo sostenible.

La metodología, si bien resulta potencialmente extrapolable a cualquier paisaje, se aplica de forma específica sobre un ámbito que se caracteriza por contar con una rica red patrimonial dispersa y paisajísticamente diversa. Se trata de un espacio no muy extenso al noroeste de la ciudad de Sevilla [Figura 1] donde coexisten un paisaje agrícola cuyo sistema de parcelación se remonta a época medieval, el Campo de Gerena, en la zona central; un paisaje minero explotado desde la prehistoria en el piedemonte de la Sierra Norte de Sevilla, al norte; los paisajes fluviales de los ríos Guadalquivir y Guadiamar, a ambos lados; y el paisaje metropolitano de Sevilla configurado en la privilegiada posición elevada de la cornisa norte del Aljarafe, al sur. Habitada desde tiempos prehistóricos, esta zona integra una compleja red patrimonial que cuenta tanto con pequeñas permanencias históricas como con bienes patrimoniales

de primer nivel, como los dólmenes calcolíticos de Valencina, el yacimiento protohistórico del Carambolo (Camas), el Conjunto Arqueológico de Itálica (Santiponce), el Monasterio de San Isidoro del Campo (Santiponce) o la hacienda Divina Pastora (Castilleja de Guzmán). Pero a pesar de lo reveladora que resulta esta red sobre la profundidad histórica de este territorio, especialmente cuando se interpreta de forma integrada, nunca ha sido valorizada más allá de algunas estrategias individuales sobre los bienes más excepcionales.

En ámbitos territoriales como este, donde se superponen permanencias históricas de diferente tipo, periodo y dimensión, es especialmente conveniente aplicar mecanismos para la articulación territorial del patrimonio y para la transmisión integrada de sus valores a la ciudadanía, dado que estos lugares son especialmente complicados de interpretar patrimonialmente. Además, los desequilibrios que provoca la presencia de importantes piezas patrimoniales de gran singularidad junto a otras de menor magnitud aumentan el riesgo de olvido y mala conservación de estas últimas. También es común que los discursos turísticos de estas zonas se centren en los periodos históricos originales de los bienes más

sobresalientes, lo que da lugar a imaginarios turísticos incompletos y normalmente exaltados (Salazar 2012).

Metodología y resultados

La metodología propuesta se organiza en cinco etapas que la dividen en sus acciones esenciales: análisis diacrónico del paisaje (Etapa 1); síntesis del análisis (Etapa 2); conceptualización de una estrategia territorial a partir del conocimiento que ha aportado el análisis diacrónico del paisaje (Etapa 3); diseño de los elementos territoriales que estructuran dicha estrategia: las rutas culturales (Etapa 4); y, por último, diseño de herramientas espaciales y virtuales para que la ciudadanía pueda hacer uso de dichas rutas (Etapa 5).

— Etapa 1ª. El análisis diacrónico del paisaje

El método comienza realizando un análisis diacrónico del paisaje desde los inicios de su ocupación antrópica hasta la actualidad, con el objetivo de reconocer los procesos evolutivos que han determinado su configuración actual.

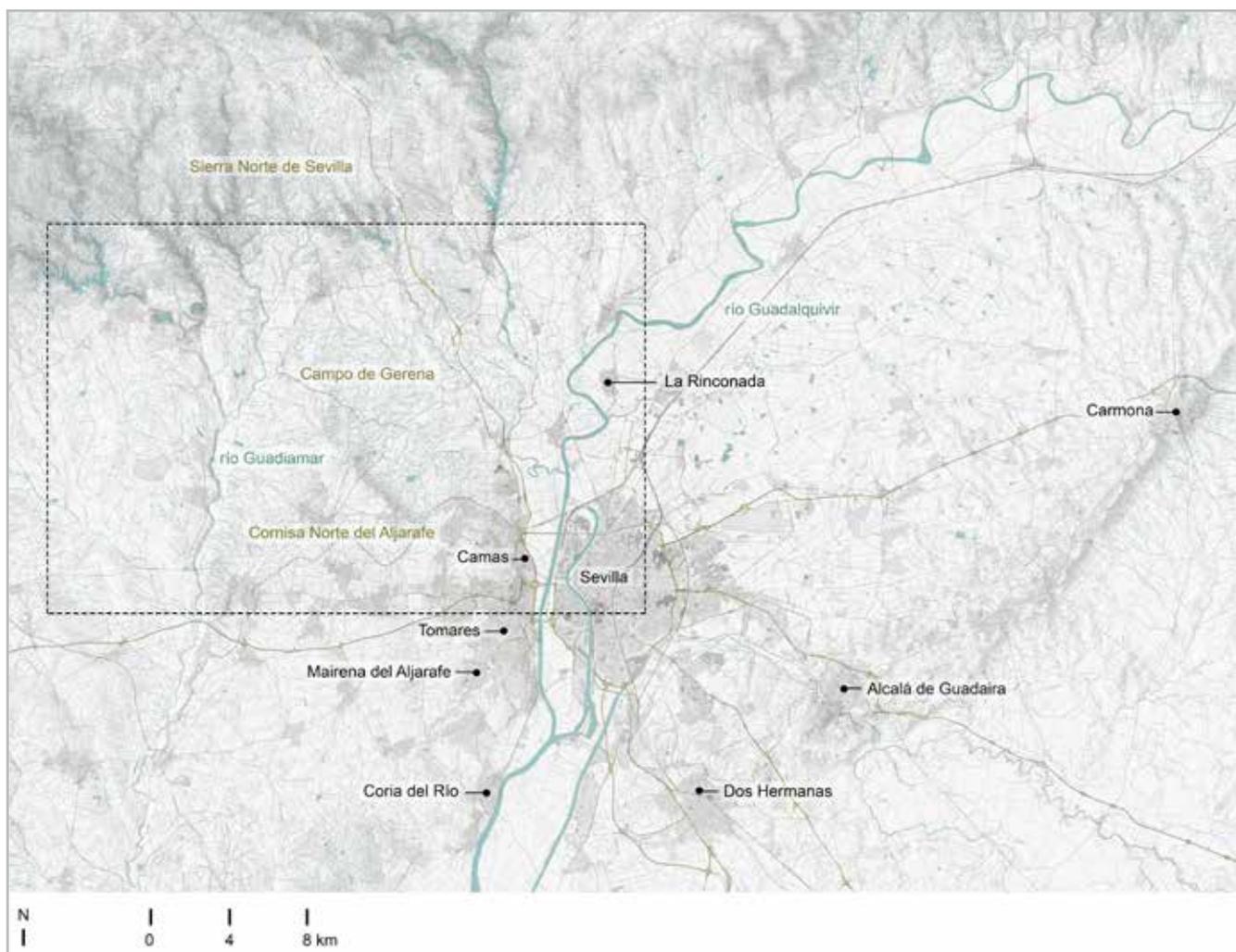


Figura 1.- Ámbito de estudio. Autor: elaboración propia.

El análisis diacrónico del paisaje es una reconstrucción histórica secuencial del mismo, un ejercicio principalmente enraizado en la geografía y la arqueología que cuenta con numerosos referentes metodológicos internacionales. Algunos son la caracterización del paisaje histórico inglesa (Aldred y Fairclough 2002), el análisis de los procesos de territorialización de la escuela territorialista italiana (Magnaghi 2017; Poli 2017) o la biografía del paisaje holandesa (Kolen *et al.* 2015). El método también comparte técnicas con la línea consolidada de investigación centrada en el avance del conocimiento histórico del paisaje a través del estudio de fuentes gráficas como fotografías y mapas históricos (Chías y Abad 2019).

Operativamente, el análisis consiste esencialmente en el estudio histórico del paisaje a través de fuentes documentales como bibliografía histórica, trabajos

de investigación, cartas arqueológicas, planeamiento municipal, catálogos patrimoniales, instrumentos normativos, fuentes iconográficas del paisaje y cartografía histórica, siendo esta última especialmente determinante. El análisis de estos documentos escritos y gráficos permite comprender la evolución de aspectos centrales para la configuración del paisaje, como las dinámicas y los patrones de asentamiento del territorio o sus ejes comerciales y defensivos [Figuras 2 y 3]. La cartografía permite a su vez entender otros procesos territoriales relevantes en los periodos más recientes, como los modos de explotación agrícola, el trazado de las vías de comunicación [Figura 4] o el desarrollo de las infraestructuras de explotación del territorio [Figura 5]. Las huellas actuales de estos procesos, las permanencias históricas, se registran a través de un proceso estandarizado de documentación digital realizado con Sistemas de Información Geográfica.

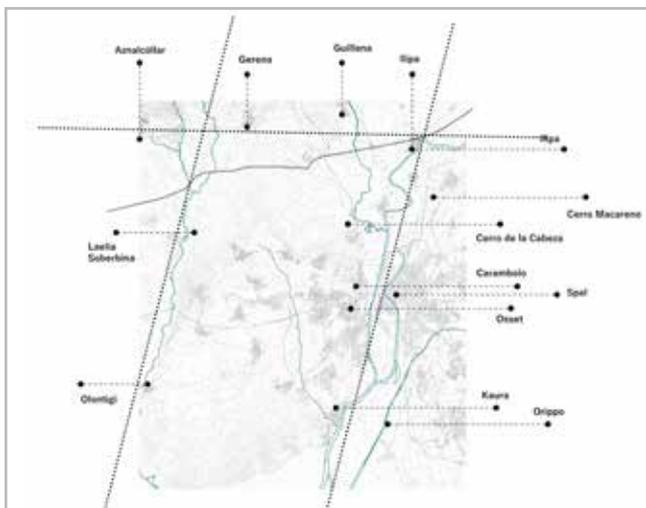


Figura 2.- Diagrama de los ejes comerciales inaugurados en la Edad del Hierro en el entorno del Bajo Guadalquivir, los cuales constituyen a su vez las principales directrices de un nuevo modelo de ocupación del territorio. Autoría: elaboración propia a partir del análisis diacrónico del paisaje.

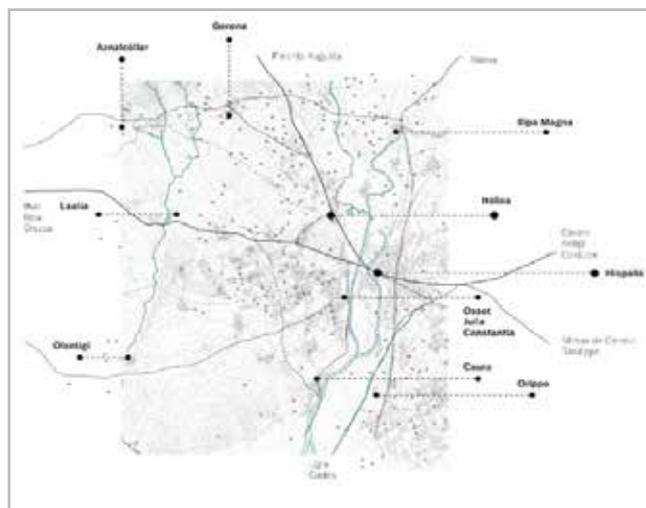


Figura 3.- Diagrama del sistema territorial romano, representado por sus principales urbs, sus vías de comunicación y los ámbitos rurales de las villae.

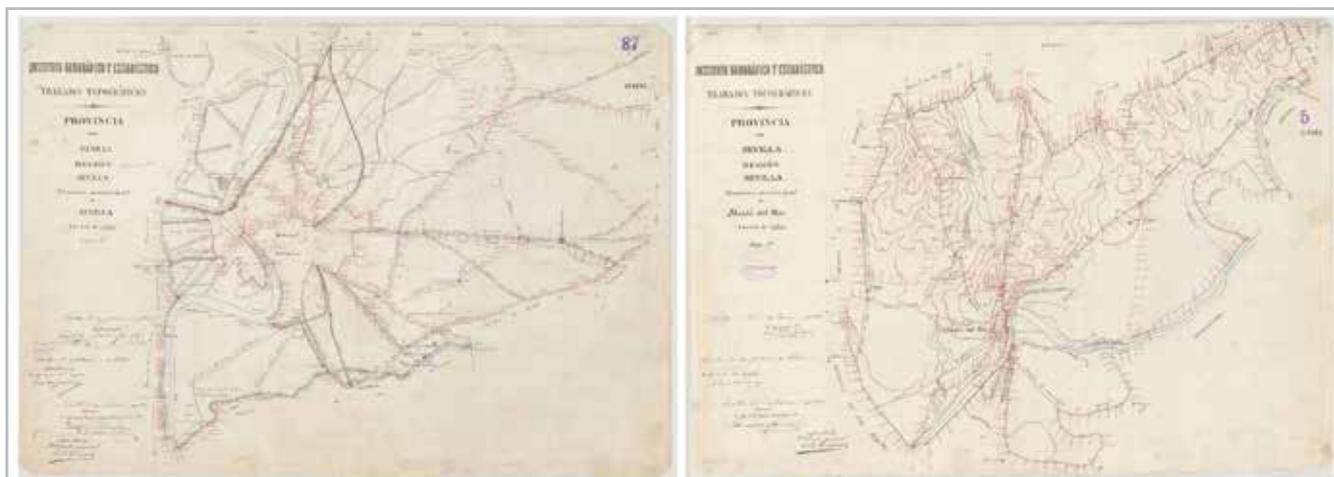


Figura 4.- Dos ejemplos de las minutas topográficas empleadas en el análisis diacrónico del paisaje noroccidental de Sevilla. Las minutas son recursos cartográficos especialmente útiles para detectar y registrar con precisión las vías de comunicación principales, así como los caminos rurales secundarios, de la época contemporánea. Instituto Geográfico y Estadístico, escala 1:25.000. 1894-1954. Fuente: Servicio de Cartografía histórica del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA).



Figura 5.- Proyecto reformado del embalse regulador y presa de La Minilla. Anejo nº 2. Trazado general desde el embalse hasta Sevilla. Los planos de obras hidráulicas que se han podido recopilar constituyen fuentes muy útiles para conocer los cambios realizados en trazados fluviales y la geometría de las nuevas infraestructuras. Ayuntamiento de Sevilla. Autoría: J. de Haro, 1942. Fuente: Servicio de Cartografía histórica del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA). Original en Archivo de Emasesa. Serie histórica de proyectos. Signatura: IECA1988136833.

Este análisis se realiza para conocer históricamente el territorio y su paisaje y, a partir de este conocimiento, construir interpretaciones más dinámicas del pasado que huyan de discursos interpretativos fijados sobre un periodo histórico concreto o de imágenes mitificadas monotemáticas de un lugar, que niegan su diversidad y riqueza. El fin último del análisis es elaborar discursos interpretativos sobre la historia del territorio que puedan después, ya en las etapas siguientes, imbricarse con estrategias territoriales evocadoras y ligadas al paisaje local.

— Etapa 2ª. La construcción de redes patrimoniales virtuales

El siguiente paso de la metodología consiste en utilizar el conocimiento que ha aportado el análisis diacrónico del paisaje para construir esos renovados discursos interpretativos sobre el contenido y el significado patrimonial del territorio. Estos discursos se van a organizar a partir de diferentes ideas-fuerzas territoriales, que se van a denominar redes patrimoniales del paisaje [Figuras 6 y 7]. Las redes estructuran al conjunto de elementos patrimoniales registrados y se apoyan en rasgos del territorio tales como sus características topográficas, cuencas fluviales, usos del suelo, etc., informando a través de ellos sobre la dimensión geográfica y el significado territorial de los bienes patrimoniales que integran.

La construcción de redes patrimoniales permite sintetizar y sistematizar el análisis diacrónico del paisaje. Estas suponen una propuesta argumentada y construida desde el presente para dar valor al paisaje a través de la cohesión e integración de su patrimonio territorial. De hecho, las redes no constituyen una fórmula cerrada e invariable, sino que, por el contrario, representan una forma específica de valorizar el paisaje actual a través de su contenido patrimonial. Suponen en sí mismas una estrategia proyectual.

A partir del tipo de relaciones que recogen, pueden ser de dos tipos:

- Redes patrimoniales históricas: Son aquellas donde la vinculación entre recursos patrimoniales reside en que juntos son capaces de transmitir el carácter del paisaje en un periodo histórico determinado.

- Redes patrimoniales de uso: Son redes que conectan los recursos patrimoniales a través de un argumento específico ligado a un uso o función, por ejemplo, el comercio, la religión, la actividad agropecuaria o la industrial. A través de los recursos patrimoniales vinculados a cada uso se traza la evolución del mismo en clave territorial y se analiza su papel en el momento presente. Estas redes pueden estar integradas por bienes de diferente tipología.

Si bien el desarrollo pormenorizado de cada una de las redes definidas supera los límites del presente artículo científico, a continuación se realiza la descripción de una de ellas, la Red 9. *La impronta minera del paisaje*, como ejemplo representativo [Figura 8]. Esta red recoge el conjunto de manifestaciones patrimoniales que permiten reconocer el impacto de la minería en la evolución y la estructuración territorial del ámbito de estudio. La explotación prehistórica de los importantes yacimientos minerales situados en los ámbitos de Gerena y Aznalcóllar ha sido confirmada por la investigación arqueológica. Si bien en la Edad del Cobre y del Bronce la información arqueológica resulta más difusa, a partir del Bronce Final-Hierro I se constata un fuerte incremento poblacional junto a las minas, una cadena de asentamientos fortificados destinados al tratamiento del material extraído y al control de las rutas mineras, revelando un sistema de organización espacial ligado a esta actividad que aún es perceptible en la actualidad a través de la observación del conjunto de yacimientos arqueológicos protohistóricos de la zona. Este cinturón de poblados permite apreciar la vocación minera de las faldas de la Sierra Norte. Otros asentamientos situados en puntos estratégicos de las rutas mineras fluviales y terrestres, como el Cerro de las Cabezas-Soberbina, confirman una pretérita ordenación del territorio totalmente marcada por la producción minero-metalúrgica.

Redes patrimoniales históricas	1. Las primeras ocupaciones del territorio. El contenido simbólico-estratégico de las posiciones elevadas
	2. El legado protohistórico. La llegada del comercio y el impacto de la variable económica en el territorio
	3. La sistematización romana del territorio
	4. La Edad Media. Defensa, centralización, interacción cultural y re-estructuración de la propiedad agraria
	5. Hegemonía nobiliaria y religiosa en el mundo rural moderno
	6. El territorio rural contemporáneo. Expansión de la producción agrícola e industrial
Redes patrimoniales de uso	7. La fortificación del territorio
	8. Los paisajes del agua
	9. La impronta minera en el paisaje
	10. La expresión de la religiosidad en el territorio
	11. La actividad agropecuaria como moldeadora del paisaje

Figura 6.- Redes patrimoniales del ámbito de estudio. Autoría: elaboración propia.

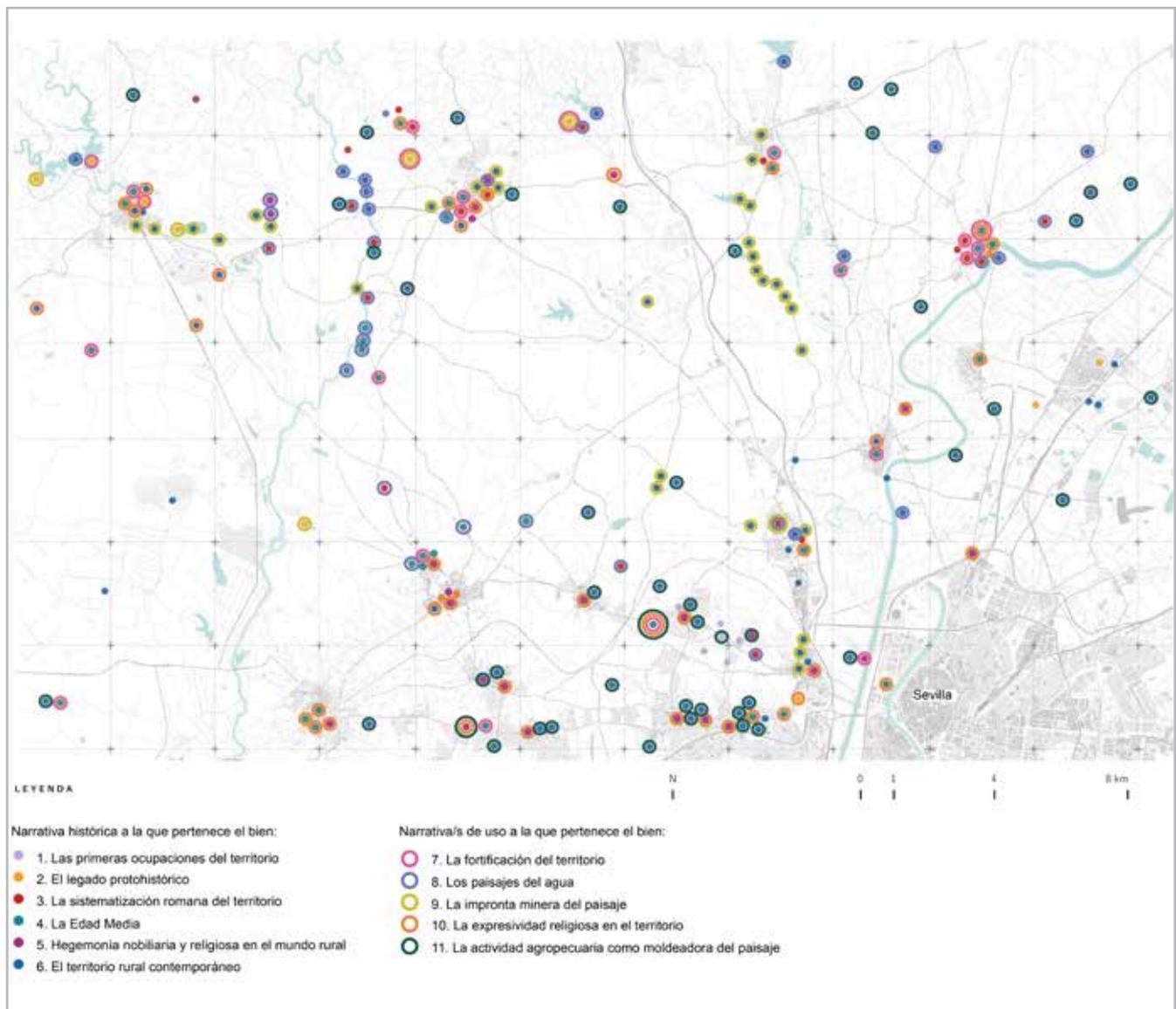


Figura 7.- Cartografía de los bienes patrimoniales puntuales del área vinculados a las diferentes redes patrimoniales. Autoría: elaboración propia.

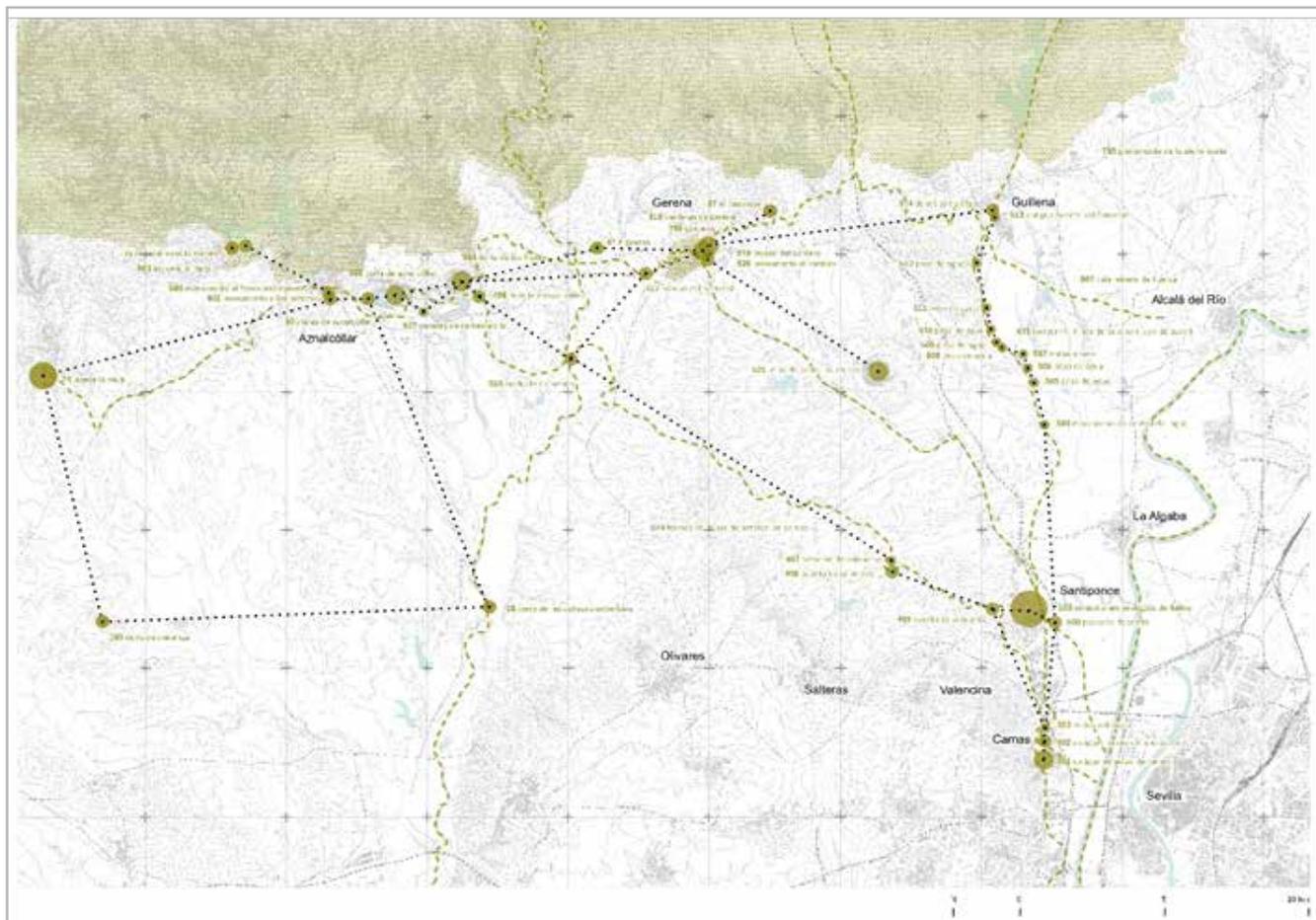


Figura 8.- Cartografía de la Red 9. *La impronta minera del paisaje*. En ella aparecen señaladas las permanencias patrimoniales puntuales, lineales y superficiales que se vinculan bajo esta temática. Autoría: elaboración propia.

La dinámica evolución de esta actividad revela momentos de apogeo, interrupciones, ceses, procesos de reactivación o cambios estratégicos en el entramado minero a lo largo de la historia, como aquellos ligados a la fundación de la nueva ciudad de Itálica en época romana, hasta llegar al siglo III d.C., momento en el que se produce el colapso de la minería hispana y la economía del ámbito de estudio se vuelca definitivamente a la actividad agropecuaria. Los periodos medieval y moderno son los que, de acuerdo con las investigaciones arqueológicas, se mantuvieron más al margen de la actividad minera. No obstante, esto no supuso el fin del paisaje minero, ya que las minas de Aznalcóllar y las canteras de Gerena se reactivaron en el siglo XIX. Asociadas a ellas y a las minas de Cala, situadas en plena Sierra Norte, discurrían dos vías de ferrocarril cuyo objetivo era conectar estos centros de producción minera con la ciudad de Sevilla, principal punto de consumo y distribución. Una de estas vías se ha transformado en la vía verde de Itálica. Su recorrido, aún perceptible actualmente, revela vestigios patrimoniales asociados a su pasado como línea ferroviaria. Por último, uno de los valores más relevantes de esta red es su fuerte reconocimiento social. La presencia de monumentos y museos asociados a la minería y al ferrocarril minero en las localidades de Aznalcóllar y Gerena lo constatan. Además, las cortas a cielo abierto de estas localidades ofrecen hoy día un 'paisaje en pausa' evocador de tiempos de ferviente actividad

en los que la minería y la cantería suponían la principal fuente de riqueza de esta zona, trayendo cierta prosperidad a sus municipios y un discreto incremento de la población local.

— Etapa 3ª. La construcción de redes patrimoniales espaciales

El objetivo subsecuente a la creación de las redes patrimoniales consiste en 'espacializar' los vínculos interpretativos que contienen: se trata de conectar los recursos patrimoniales de cada red a través de la estructura de movilidad actual. En otras palabras, esta etapa proyecta cada red patrimonial sobre el territorio a través de las vías de comunicación existentes. Si las redes patrimoniales funcionaban como herramientas virtuales para estructurar y vincular el patrimonio territorial, esta etapa construye itinerarios desde los cuales poder acceder ordenadamente a los bienes, valorando la experiencia del recorrido como mecanismo para el conocimiento y disfrute del paisaje.

Desde un punto de vista operativo, el primer paso de esta etapa consiste en la transformación de todos los elementos patrimoniales de las redes virtuales en entidades de punto y línea. Los paisajes que forman parte de las redes, como por ejemplo un área minera o una zona agrícola, se representan a través de las vías más representativas que los atraviesan y

de los puntos de observación a los mismos. Para esto, se han llevado a cabo análisis de visibilidad en entorno SIG que han permitido detectar las mejores localizaciones para apreciar un área determinada. También se ha analizado la red de movilidad actual del ámbito de estudio para seleccionar las vías públicas que atraviesan esos paisajes, aquellas que denominaremos vías paisajísticas. De este modo, los elementos patrimoniales de las redes quedan representados por:

- Entidades puntuales: bienes patrimoniales puntuales (p. ej. patrimonio arquitectónico), puntos de observación a las áreas de interés y puntos de referencia de las manifestaciones inmateriales.
- Entidades lineales: bienes patrimoniales lineales (vías históricas) y vías paisajísticas.

Las redes patrimoniales espaciales integran a las entidades lineales, incorporadas directamente, y a los recorridos que conectan entre sí a las entidades puntuales. Para crear dichos recorridos entre puntos y enlazarlos después con las entidades lineales, se ha recurrido a un análisis de redes en entorno SIG sobre la red de movilidad lenta. También se ha realizado un análisis sobre la red de movilidad rápida para proponer recorridos alternativos que, a través de un vehículo motorizado, permitan realizar las conexiones en menor tiempo [Figura 9]. Esta etapa de la metodología propone un mecanismo para fortalecer los vínculos entre la gestión del patrimonio y la planificación del paisaje. Las cartografías constituyen herramientas fundamentales al respecto, ya que permiten, en primer lugar, acompañar el proceso de registro patrimonial digital con una lectura e interpretación territorial del patrimonio y, en segundo lugar, derivar el proceso en una estrategia espacial específica.

— Etapa 4ª. Los recorridos activadores del paisaje

En la siguiente etapa se trabaja ya sobre un ámbito de estudio menor con respecto al anterior. Tiene como objetivo

que los itinerarios señalados en la etapa previa puedan ser reconocidos por la ciudadanía y constituirse como recursos interpretativos. Para ello, la primera cuestión que se debe resolver es la necesidad de establecer un orden y una jerarquía en los itinerarios que mejore su inteligibilidad en el territorio. Este objetivo se aborda a través de una metodología fundamentada en técnicas de análisis y expresión gráfica. Se combina una fase de carácter descriptivo-analítico, apoyada en técnicas de análisis espacial avanzado, con una segunda de carácter experimental.

En primer lugar, se establece una clasificación jerárquica inicial de todos los itinerarios definidos en la etapa anterior a partir de datos de las vías como sus niveles de contaminación visual y acústica, su visibilidad y su profundidad histórica. También se considera la tipología de las vías –si se trata de una vía o corredor verde, carril bici, vía pecuaria, etc.– y, a través de un análisis de redes, la capacidad de las mismas para conectar los elementos patrimoniales y los puntos de observación del paisaje en el menor tiempo posible. Una vez realizada una jerarquía preliminar de los itinerarios a partir de estos datos, se realizan tres derivas paisajísticas que consisten en pasear por las rutas seleccionadas como principales. Como ya nos mostró F. Careri (2016), el andar es un instrumento cognitivo y creativo que permite profundizar en la interpretación del paisaje. En el proceso desarrollado, el camino se analiza a través de una toma de datos que va registrando las percepciones visuales y sonoras experimentadas durante el paseo. Se utiliza para ello un sistema de códigos gráficos. Dichos códigos se van dibujando sobre un mapa impreso sobre papel, al cual le acompañan además fotografías, grabaciones de sonido, anotaciones escritas y bocetos.

Una vez realizadas las dos fases, se obtiene una jerarquía final de rutas, donde existen unos recorridos de primer nivel que estructuran la propuesta y otros secundarios y terciarios que permiten ir accediendo a las diferentes permanencias históricas de la zona [Figura 10]. Las intersecciones de las rutas, los nodos, también se jerarquizarán en función del nivel jerárquico de las rutas que se cruzan en ellos. Como se

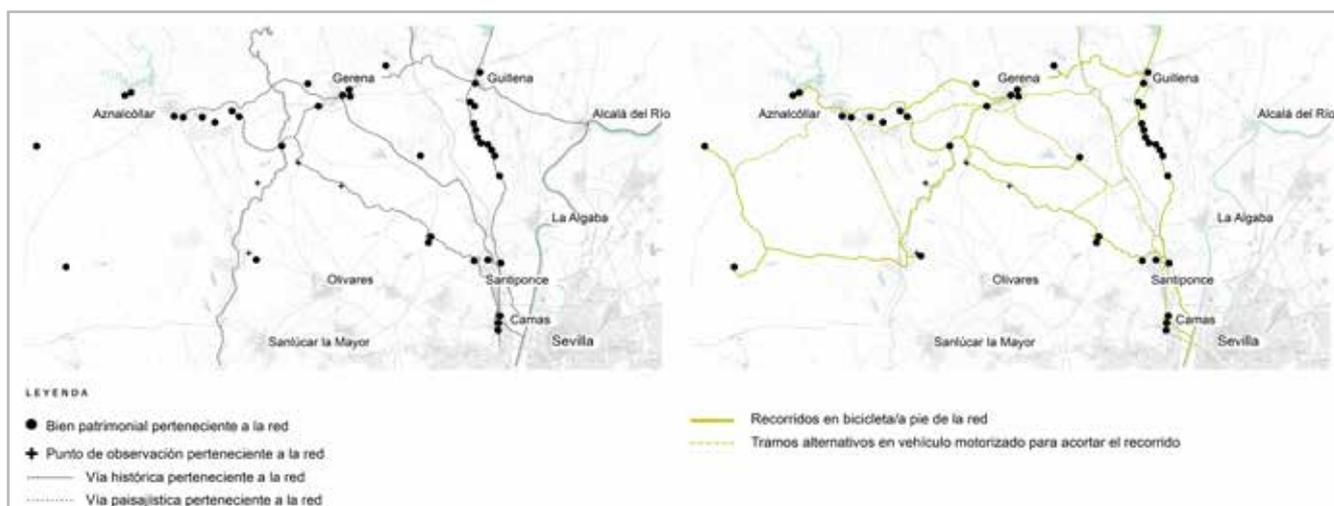


Figura 9.- A modo de ejemplo, diagrama de la transformación de la red patrimonial virtual 9. *La impronta minera en el paisaje*, una vez reducida a entidades de punto y línea (izquierda), en una red espacial de itinerarios (derecha). Autoría: elaboración propia.

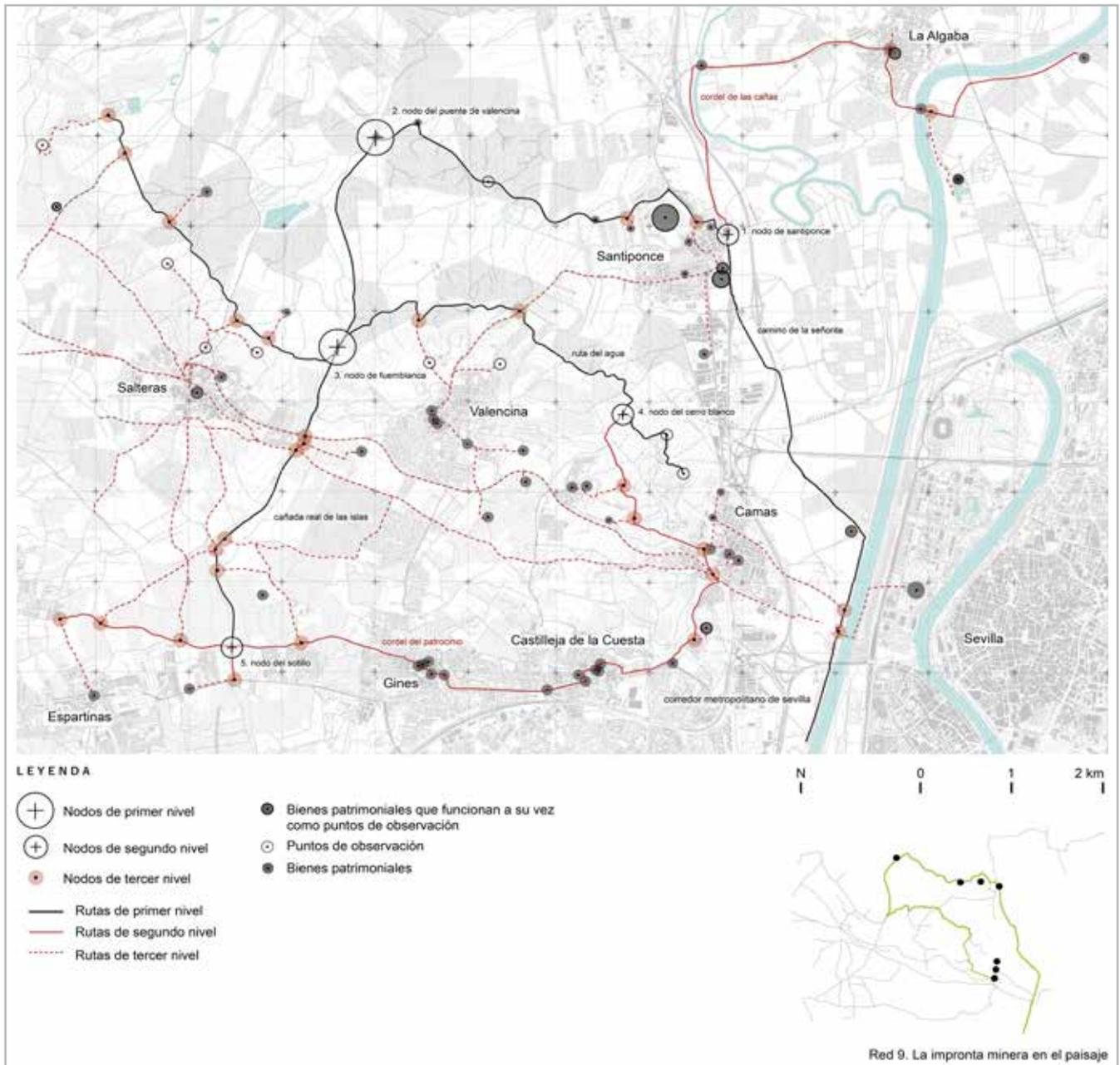


Figura 10.- Proyecto de rutas de un área ampliada del ámbito de estudio, realizado a partir de la jerarquización de los itinerarios obtenidos en la etapa 3ª, junto a un diagrama de ejemplo de superposición de la Red 9. *La impronta minera del paisaje* sobre el proyecto de rutas. Autoría: elaboración propia.

observa en la figura 9 a través del ejemplo de la red sobre la *impronta minera del paisaje*, sobre esta propuesta de rutas se pueden superponer cada una de las once redes de itinerarios definidas en la etapa anterior.

— Etapa 5ª. Las herramientas narrativas

Una vez se han diseñado las rutas, la última etapa plantea la necesidad de desarrollar herramientas eficaces para transmitir a la población los discursos interpretativos que se asocian con ellas. En este marco, resulta útil reflexionar sobre respuestas digitales y espaciales, con especial interés en la posible sinergia entre ambas aproximaciones.

En relación con la respuesta digital, en los últimos años está comenzando a reconocerse la pertinencia de emplear fórmulas de representación y visualización digital del patrimonio para mejorar la transmisión de sus valores a la ciudadanía (Salerno 2020). En este marco, resulta destacable el protagonismo que vienen alcanzando las herramientas aportadas por las tecnologías de información y comunicación (TICs). Estas técnicas resultan especialmente valiosas porque facilitan que el patrimonio pueda ser percibido por la población como una realidad cercana, accesible y comprensible.

En relación con la respuesta espacial, la arquitectura puede convertirse en un mecanismo de inteligibilidad paisajística,

en un ejercicio de transferencia. Para lograr este objetivo, se podría proponer una intervención en las rutas cuya expresión material fuera la de pequeñas arquitecturas narrativas que discurren por ellas y las doten de una imagen reconocible. El entendimiento del paisaje como un entramado de relaciones permitiría incorporar, como un nuevo estrato, la propuesta de actuación. El diseño arquitectónico debería mostrar los bienes patrimoniales y sus relaciones como una capa de significado del paisaje y dar a dicha capa un uso contemporáneo (Aníbarro et al. 2008). Si bien una propuesta de arquitectura no resulta pionera como estrategia, dado que proyectos similares se han llevado a la práctica en paisajes patrimoniales en España desde hace varios años (Álvarez y de la Iglesia, 2017), es importante señalar la posibilidad de que el armazón discursivo construido pueda derivar en una intervención arquitectónica específica.

Discusión y conclusiones

El método propuesto se plantea como una estrategia para la valorización integrada de la malla de manifestaciones culturales del ámbito territorial que se extiende al noroeste de la ciudad de Sevilla, un paisaje compuesto tanto por pequeñas permanencias históricas dispersas como por bienes patrimoniales de mayor escala. La lectura integrada de este patrimonio permite articular discursos ricos, explicativos y coherentes sobre este territorio, su paisaje, sus habitantes y la relación habida entre ambos. En paisajes sensibles como este, que acogen un elevado número de permanencias patrimoniales diversas entre sí, esta lectura integradora es especialmente conveniente porque contribuye a garantizar la atención y valorización de todas las manifestaciones patrimoniales que los componen. Y esta cohesión territorial del patrimonio puede suponer una alternativa para aquel 'patrimonio menor' que necesita de visiones de conjunto en sus procesos tanto de dinamización como de interpretación. En relación con estos procesos, la estrategia construye una secuencia operativa para utilizar de manera disciplinada, crítica y creativa el conocimiento histórico para promover nuevos usos sociales en el territorio. Por tanto, incorpora una componente científica a la par que proyectual, propositiva. Utilizar los discursos interpretativos patrimoniales que proporciona el análisis diacrónico del paisaje para construir una estrategia territorial basada en la definición de rutas culturales muestra una vía de experimentación para reformular las relaciones que existen entre patrimonio, paisaje, territorio y ciudadanía.

La aplicación de la metodología en el ámbito territorial que se extiende al noroeste de la ciudad de Sevilla ha permitido detectar los vínculos históricos de un rico entramado patrimonial que no ha sido nunca puesto en valor de forma integrada. A través del análisis diacrónico del paisaje se han comprendido las implicaciones territoriales de los bienes patrimoniales de la zona, descubriendo así sus relaciones territoriales originales con otros componentes del paisaje. Construir nuevos discursos interpretativos a partir de dichas relaciones convierte a la dinamización social del patrimonio en

una experiencia territorial que debe recurrir a fórmulas más allá de la visita puntual y la comprensión objetual de los bienes.

En el plano operativo, se ha construido una línea metodológica donde la combinación de técnicas de estudio e inventariado del patrimonio con otras más cercanas a la planificación y al diseño espacial visualizan la posible confluencia entre las aproximaciones, las sensibilidades y los métodos que recogen ambos sectores. La cooperación transdisciplinar, así como la sinergia con las nuevas tecnologías digitales, en especial con los Sistemas de Información Geográfica, son las dos claves fundamentales de la estrategia propuesta. Destaca a su vez la importancia de la cartografía como instrumento de análisis, síntesis y proyecto. Esta permite dotar al valor cultural del paisaje, un valor que en primer término resulta abstracto, de una dimensión geográfica. A través de un análisis estructural del patrimonio territorial, considerado la realidad sustancial sobre la que se proyecta el paisaje, el valor cultural del paisaje se asocia a elementos puntuales, lineales y áreas específicas del territorio. Podríamos decir, de forma esencial, que el paisaje se 'transfiere' al territorio a través del patrimonio. Y otorgar coordenadas al valor cultural del paisaje resulta útil para después establecer directrices de planificación territorial consecuentes con dicho valor. La cartografía nos permite, por tanto, concretizar una realidad plural, omnicomprensiva y multidimensional como es el paisaje para después poder diseñar una estrategia territorial desde la que valorarlo.

Es preciso insistir en la necesidad de desarrollar estrategias de desarrollo territorial que estriben en el propio paisaje y su patrimonio. Estrategias sostenibles que lo que hagan sea ofrecer legibilidad a las capas de significado que subyacen en nuestros paisajes. La dificultad radica, como es comprensible, en cómo materializar en el plano científico y técnico –que es el que aquí nos interesa– dicha vocación de promover el desarrollo sostenible de los paisajes y sus recursos patrimoniales. Una de las claves que aporta el método propuesto es que, para avanzar en la implementación práctica de esa deseable sostenibilidad, son necesarias herramientas que, como la cartografía, nos permitan localizar, representar y visibilizar la dimensión geográfica, tangible, de esas capas de significado.

Otra de las conclusiones más claras que aporta la línea de trabajo que presenta este texto es que, hasta ahora, la ausencia de una figura de protección a escala de paisaje no parece haber sido lo que ha provocado la generalizada poca atención que se ha prestado a 'lo patrimonial' en los territorios donde no se aplican figuras específicas de protección, sino más bien la absoluta falta de ordenación y planificación integrada de los recursos patrimoniales territoriales. Por eso, ni el problema ni la solución está en los principios científicos y técnicos que regulan la protección del patrimonio cultural, sino en que se ha obviado que lo prioritario para mantener la diversidad cultural de nuestros territorios es una adecuada y planificada estrategia de recuperación y valoración del patrimonio territorial, es

decir, del patrimonio entendido bajo un enfoque inclusivo, extensivo e intrínsecamente relacionado con el paisaje.

Notas

[1] Si bien este artículo realiza una síntesis de la investigación realizada y sus conclusiones más relevantes, el trabajo completo se puede consultar en: López Sánchez, M. (2022). *Proyecto de paisaje y patrimonio territorial. Bases conceptuales y estratégicas aplicadas al territorio noroccidental de Sevilla*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla

Referencias

- ALDRED O. Y FAIRCLOUGH, G. (2002). *Historic landscape characterization. Taking stock of the method*. The National HLC Method Review. Swindon: English Heritage y Somerset County Council.
- ÁLVAREZ ÁLVAREZ, D. Y DE LA IGLESIA SANTAMARÍA, M.A. (Coords.) (2017). *Modelos de Paisajes Patrimoniales. Estrategias de protección e intervención arquitectónica*. Valladolid: LAB/PAP; Departamento de Teoría de la Arquitectura y Proyectos Arquitectónicos, Universidad de Valladolid.
- ANÍBARRO, M.A., IBÁÑEZ, J. y GAZAPO, D.I. (2008) "Aranjuez, a Cultural Landscape in a Process of Revitalisation: The Recovery of the Raso de la Estrella", *Journal of Landscape Architecture*, 3(2): 54-67. <https://doi.org/10.1080/18626033.2008.9723404>
- BALLESTER, J.M. (2016). "Del patrimonio al paisaje: el Convenio Europeo del Paisaje y el programa del Valle del Nansa". En *Fisonomías del Paisaje. Un diálogo interdisciplinar*, Aníbarro, M.A. (Ed.), Madrid: Editorial Rueda, 105-115.
- CAPEL, H. (2014). "El patrimonio natural y territorial. De la protección a la gestión y regeneración del paisaje cultural", *Zarch* 2: 10-41. <https://zarch.unizar.es/images/Descargas/PDF/Revista02/0201-Horacio%20Capel.pdf>. [consulta: 17/06/2021].
- CARERI, F. (2016). *Pasear, detenerse*. Barcelona: Gustavo Gili.
- CASTILLO, J. (2009). "La dimensión territorial del Patrimonio Histórico". En *Patrimonio histórico y desarrollo territorial*, Castillo, J., Cejudo, E. y Ortega, A. (Eds.), Sevilla: Universidad Internacional de Andalucía, 22-48.
- CHÍAS NAVARRO, P. Y ABAD, T. (2019). "Riverscapes and Watersheds: Cultural heritage layers along the river Guadalbullón (Jaén, Spain)". En *Cultural Landscape in Practice. Conservation vs. Emergencies*, Salerno, R. y Amoruso, G. (Eds.), 25-36. Cham: Springer.
- FERIA TORIBIO, J.M. (2013). "El patrimonio territorial. Algunas aportaciones para su entendimiento y puesta en valor", *Revista electrónica de patrimonio histórico e-rph*, 12, 200-224. <https://revistaseug.ugr.es/index.php/erph/article/view/18345> [consulta: 17/06/2021].
- FERNÁNDEZ CACHO, S. (2019). "La dimensión paisajística en la gestión del patrimonio cultural en España", *Estudios Geográficos*, 80 (287): e026. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201943.023>
- KOLEN, J., RENES, J. Y HERMANS, R. (2015). *Landscape Biographies. Geographical, historical and archaeological perspectives on the production and transmission of landscapes*. Amsterdam: Amsterdam University Press.
- MAGNAGHI, A. (2017). "La storia del territorio nell'approccio territorialista all'urbanistica e alla pianificazione". *Scienze Del Territorio*, 5: 32-41. https://doi.org/10.13128/Scienze_Territorio-22229
- MANERO MIGUEL, F. Y GARCÍA CUESTA, J.L. (Coords.) (2017). *Territorial heritage & Spatial Planning. A Geographic Perspective*. Cizur Menor: Thomson Reuters Aranzadi.
- MATA OLMO, R. Y FERRER JIMÉNEZ, D. (2021). "La protección, gestión y mejora del paisaje en España. Estudio comparado", *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 207: 189-214. <https://doi.org/10.37230/CyTET.2021.207.12>
- MARTÍN JIMÉNEZ, M.I. (2016). "Patrimonio y Paisaje en España y Portugal. Del valor singular a la integración territorial", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 71: 347-374. <https://doi.org/10.21138/bage.2286>
- POLI, D. (2017). "Processi storici e forme della rappresentazione identitaria del territorio", *Scienze Del Territorio*, 5: 42-53. https://doi.org/10.13128/Scienze_Territorio-22230
- POLI, D. (2020). "La aproximación patrimonial como base del proyecto integrado del territorio". En *Innovación para la gestión integrada del patrimonio, el paisaje y el turismo*, Tejedor Cabrera, A., Linares Gómez del Pulgar, M., López Sánchez, M. y Merino del Río R. (Coords.), Sevilla; Valladolid: Editorial Universidad de Sevilla; Ediciones Universidad de Valladolid, 18-42.
- ROTONDO, F., SELICATO, F., MARIN, V., LOPEZ GALDEANO, J. (Eds.) (2016). *Cultural Territorial Systems. Landscape and Cultural Heritage as a Key to Sustainable and Local Development in Eastern Europe*. Cham: Springer.
- SALAZAR, N. B. (2012). Tourism imaginaries: A conceptual approach. *Annals of Tourism Research*, 39(2), 863-882. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2011.10.004>
- SALERNO, R. (2020). "Graphic Languages and Digital Tools for Communicating and Sharing Heritage". En *Graphical Heritage*, Agustín-Hernández, L., Vallespín Muniesa, A. y Fernández-Morales, A. (Eds.), Cham: Springer, 475-484. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47979-4_41
- SILVA PÉREZ, R. Y FERNÁNDEZ SALINAS, V. (2017). El nuevo paradigma del patrimonio y su consideración con los paisajes: Conceptos, métodos y prospectivas. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 63 (1), 130-151. <https://doi.org/10.5565/rev/dag.344>
- TROITIÑO VINUESA, M.A. (2011) "Territorio, patrimonio y paisaje:

desafíos de una ordenación y gestión inteligentes", *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 169-170: 561-569. <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/76083> [consulta: 17/06/2021].

UNESCO (1998). *Conferencia Intergubernamental sobre Políticas Culturales para el Desarrollo*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000113935_spa.locale=es [consulta: 18/01/2021].

UNESCO (2013). *Declaración de Hangzhou. Situar la cultura en el centro de las políticas de desarrollo sostenible*. http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/CLT/pdf/final_hangzhou_declaration_spanish.pdf [consulta: 18/01/2021].

Autor/es



Marina López Sánchez
marinalopez@us.es
Universidad de Sevilla
<https://orcid.org/0000-0002-7074-7279>

Doctora Arquitecta por la Universidad de Sevilla, 2021. Su trabajo se centra en el desarrollo de marcos conceptuales y metodológicos para enfrentar los desafíos actuales en el análisis, representación y proyecto del paisaje. Está particularmente interesada en las convergencias entre arquitectura, paisaje, patrimonio y turismo en la investigación del paisaje cultural. Es autora de más de 10 artículos publicados en 2020-21 sobre esta temática. Ha realizado estancias internacionales de investigación en la Università Luav di Italia (2018, 2019) y en el Politecnico di Milano (2021). Es miembro del Consejo Editorial de la red internacional de dieciséis escuelas de arquitectura 'Designing Heritage Tourism Landscape' desde 2019.



Mercedes Linares Gómez del Pulgar
mercedeslgdp@us.es
Universidad de Sevilla
<https://orcid.org/0000-0002-6323-1020>

Profesora titular de Expresión Gráfica Arquitectónica de la Universidad de Sevilla. Directora del Departamento EGA (desde 2018). Visiting Professor en Bochum University of Applied Sciences, Alemania (cursos 2013-15). Ha realizado estancias de investigación en Università IUAV di Venezia y ENSA Paris-Malaquais. Especialista en Patrimonio Histórico, es investigadora de la Arquitectura, la Ciudad y el Paisaje del siglo XIX. Premio de Investigación Archivo Hispalense (2014) y Premio Extraordinario de Doctorado Universidad de Sevilla (2013-14). Ha obtenido numerosos premios nacionales e internacionales por su obra construida con TEJEDOR_LINARES & asociados (www.tejedorlinares.com).



Antonio Tejedor Cabrera
atejedor@us.es
Universidad de Sevilla
<https://orcid.org/000-0002-1668-086X>

Catedrático de Proyectos Arquitectónicos de la Universidad de Sevilla. Director del Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción US (desde 2015). Premio Extraordinario de Doctorado US 1997-98. Especialista en intervenciones sostenibles en Patrimonio Histórico y Paisajes Culturales, fue asesor del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (1990-2001) y vocal de la Comisión Andaluza de Arqueología (1997-2003). Investigador Principal del proyecto I+D+i (Ministerio de Economía y Competitividad 2016-19) SMART ARCHITECTURAL AND ARCHEOLOGICAL HERITAGE. Ha recibido, entre otros, los siguientes premios internacionales: Voto de Louvor de la Universidad de Lisboa (2012); PRAM Premio Internazionale sul Restauro e Architettura Mediterranea (2013) y Finalista (segundo clasificado) en II PREMIO MEDITERRÁNEO DEL PAISAJE "Obra realizada" (2007).

Artículo enviado el 17/06/2021
Artículo aceptado el 30/01/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1018>

La antigua arca principal de distribución de agua del Real Alcázar de Sevilla (España). Nuevas aportaciones a su conocimiento y conservación

Candela Bandrés Mariscal, Antonio José Albardonedo Freire, Miguel Ángel Tabales Rodríguez, María Dolores Robador González

Resumen: El principal sistema de abastecimiento de agua del Real Alcázar de Sevilla fue un acueducto construido en 1172. Este artículo documenta el descubrimiento del arca de distribución en el final del acueducto. En el siglo XVII, esta arca constituía un sistema de compuertas que permitía el control y el reparto del agua en el palacio, jardines y huertas. Ante la falta de referencias históricas, partiendo de los antecedentes arqueológicos, del estudio topográfico y de las cotas hidráulicas, se ha descartado la hipótesis tradicional de su ubicación en el interior de la Torre del Agua. Los restos del acueducto han permitido descubrir la construcción y confirmar su localización exacta. Se analiza su funcionamiento y se lanza una hipótesis sobre sus posibles remodelaciones. El estudio gráfico realizado aporta el conocimiento necesario para la conservación de esta infraestructura hidráulica, facilitando su interpretación y puesta en valor.

Palabras clave: arca de agua, Alcázar de Sevilla, acueducto, ingeniería hidráulica

The ancient main water distribution box from Seville's Real Alcazar (Spain). New additions to its knowledge and conservation

Abstract: The central supplying water system from Seville's Real Alcazar was an aqueduct built in 1172. This article shows the discovery of a main water distribution box at the end of the aqueduct. In the XVII century, the box constituted a sluice-gate system that allowed water distribution to the palace, garden and orchards. In the absence of historical references and starting from archaeological precedents, the topographical study and the hydraulic heights, rejects the traditional hypothesis of it being located in Water Tower. The remains of the aqueduct have allowed us to discover and confirm their precise location. Its operation is explained, and a hypothesis is created about its possible renovations. The graphic design made lets us guarantee the long-term conservation of hydraulic infrastructure, facilitating its interpretation while allowing us to give it its deserved value.

Keywords: box water, Seville's Real Alcazar, aqueduct, Hydraulic engineer

A antiga arca principal de distribuição de água do Real Alcázar de Sevilha (Espanha). Novos acréscimos ao seu conhecimento e conservação

Resumo: O principal sistema de abastecimento de água do Real Alcázar de Sevilha foi um aqueduto construído em 1172. Este artigo documenta a descoberta da arca de distribuição no final do aqueduto. No século XVII, esta arca constituía um sistema de portões que permitia o controlo e distribuição da água no palácio, jardins e pomares. Dada a falta de referências históricas, baseadas nos antecedentes arqueológicos, no estudo topográfico e nos níveis hidráulicos, a hipótese tradicional de sua localização dentro da Torre del Agua foi descartada. Os restos do aqueduto permitiram descobrir a construção e confirmar a sua localização exata. O seu funcionamento é analisado e é lançada uma hipótese sobre a sua possível remodelação. O estudo gráfico realizado fornece os conhecimentos necessários para a conservação desta infraestrutura hidráulica, facilitando a sua interpretação e valor.

Palavras-chave: arca de água, Alcázar de Sevilha, aqueduto, engenheiro hidráulico

Introducción

El acueducto conocido como los *Caños de Carmona* se construyó en 1172 bajo el mandato del califa almohade Abu Yaqub Yusuf (IBN Sahib 1969). Dejó de ejercer su función a principios del siglo XX tras decidirse su derribo y abandonar la captación de agua de su manantial (Aparicio 2011). Esta infraestructura hidráulica fue construida con el propósito de suministrar agua a los palacios y jardines reales del Alcázar y de la Huerta del Rey, desde el manantial de Santa Lucía ubicado en Alcalá de Guadaíra, a 17 kilómetros de Sevilla. Recorría los primeros 6 kilómetros en dirección hacia la ciudad mediante *qanats* considerados de origen romano. Esta galería subterránea salía a la luz en la Hacienda llamada *La Red del Agua*, a 9 kilómetros de su destino final. A partir de entonces, comenzaba un recorrido serpenteante mediante una acequia a nivel del suelo, siguiendo la senda de los molinos harineros en la banda norte del camino que unía Alcalá Guadaíra con Sevilla hasta alcanzar el templete de la *Cruz del Campo* (García 1997). Desde este lugar, los almohades construyeron un acueducto en línea recta de casi 2 kilómetros de longitud. Esta gran arcada finalizaba en uno de los accesos de la muralla de Sevilla, la *puerta de Carmona*. Adosada a esta puerta se encontraba un arca general de distribución de agua de la ciudad (Bandrés *et al.* 2017), desde donde partía en dirección al Alcázar del rey, una única cañería cerámica insertada en la muralla almohade [Figura 1]. La primera referencia documental que conservamos sobre esta cañería es del año 1400, cuando dos maestros cañeros recibieron 2.000 maravedís por realizar reparaciones (Collantes 1968). Durante su recorrido, la cañería tenía

que sortear obstáculos como otros accesos a la ciudad: la *puerta de la Carne* y el *postigo del Agua* (1). Al ser la llegada del acueducto al arca de distribución del Alcázar sobre el inmediato vano del postigo del Agua (9 metros), su cota de altura ha sido estratégica en esta investigación.

En el año 1622, el maestro mayor del palacio Vermondo Resta, construyó una segunda canalización paralela a la existente para impedir que el Alcázar siguiera sufriendo continuos robos de agua, debido a los orificios que los vecinos hacían en la cañería (Fernández 2011). Esta nueva conducción llevaba la misma trayectoria que la *cañería vieja* (6) pero se ubicada en el frente exterior de la muralla de la ciudad, el más próximo a las huertas del Alcázar, permaneciendo la *cañería vieja* en el interior. La *vieja* quedaría a partir de entonces destinada a suministrar agua mediante arcas de agua secundarias (8) a los edificios importantes de la ciudad como la Catedral y el Palacio Arzobispal (Jiménez 2007), y a las viviendas del Patio de Banderas entre otros. La *cañería nueva* (7) sería para el suministro exclusivo de agua al Alcázar (Fernández 2004). Actualmente se conservan restos de las dos cañerías localizados en la plaza de los Refinadores, calle de Nicolás Antonio y plaza Alfaro.

El arca principal de distribución descubierta se encuentra en el ángulo suroriental del Alcázar en el Jardín del Chorrón (2) adosada a la Torre del Agua (3), próxima al actual estanque de Mercurio (4) [Figuras 2a y b]. Entre los años 1575 y 1578, el rey Felipe II decidió la ordenación de este espacio para convertirlo en un nuevo jardín. Se elevó la cota del terreno un metro de altura (prácticamente a la

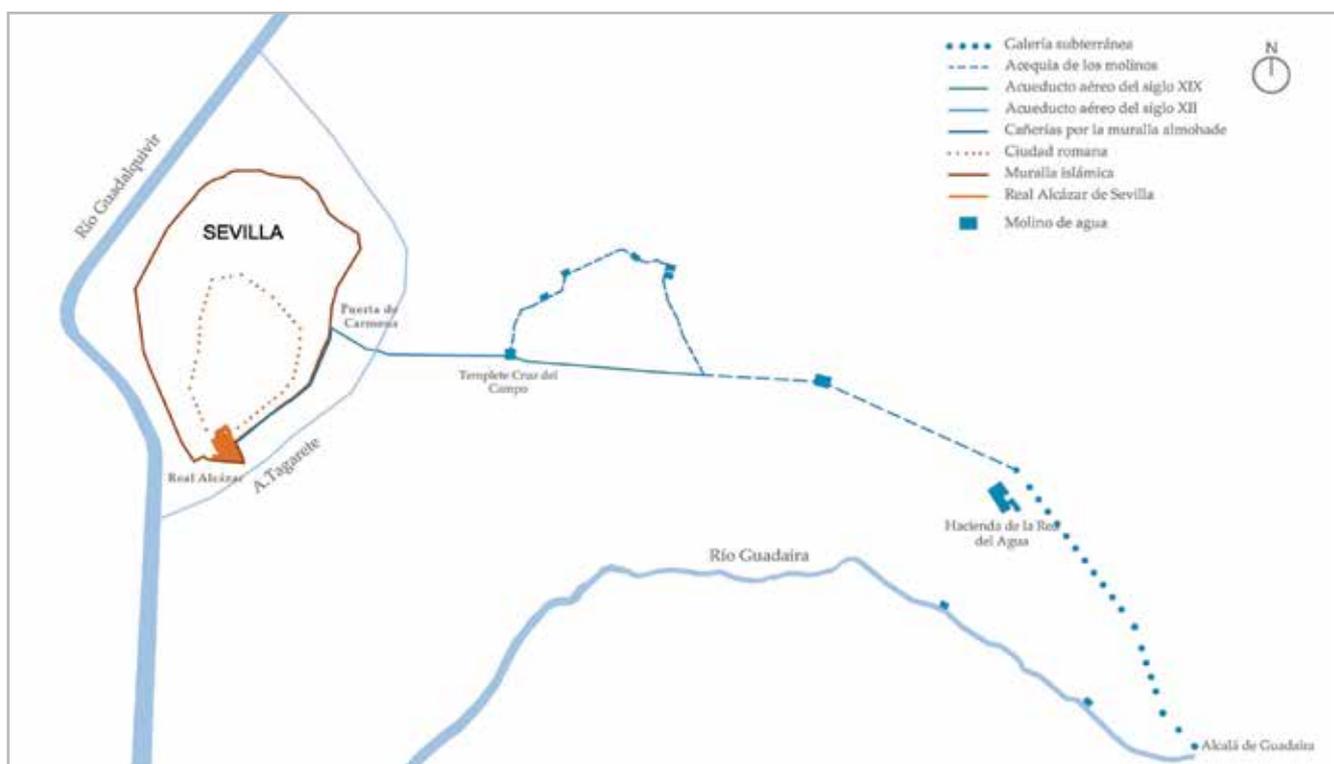


Figura 1.- Acueducto desde Alcalá de Guadaíra hasta el Real Alcázar de Sevilla. Dibujo de los autores.

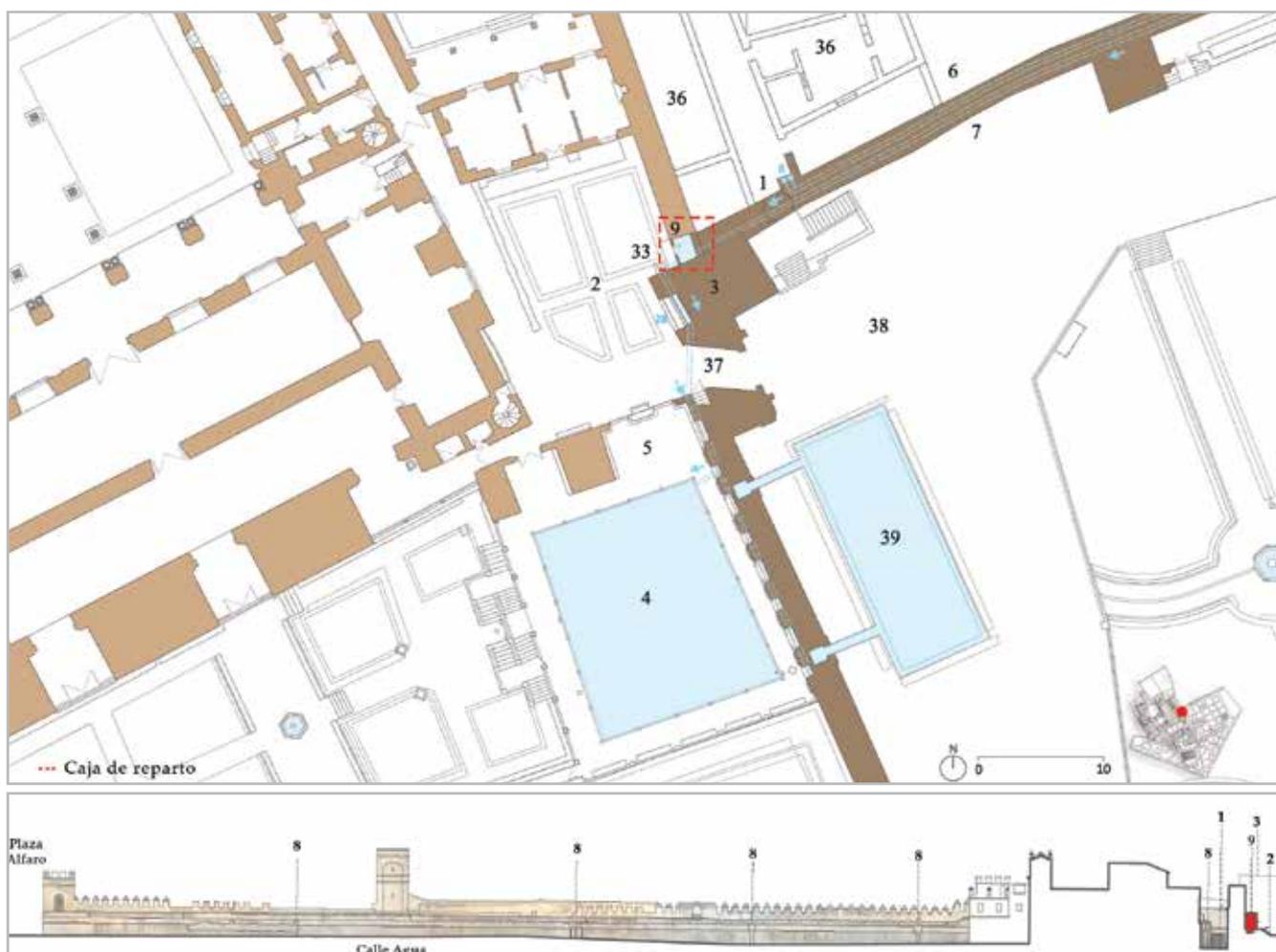


Figura 2.- Ubicación del arca de distribución en el Alcázar. Estado actual. (a) Plano en planta. (b) Alzado visto desde la calle Agua de la muralla almohade por donde van las cañerías hasta alcanzar el arca. Leyenda: (1) Postigo del agua, (2) Jardín del Chorrón, (3) Torre del Agua, (4) Estanque de Mercurio, (5) Jardín del Estanque, (6) Cañería vieja, (7) Cañería nueva, (8) Arcas secundarias, (9) Arqueta de distribución, (33) Escalera, (36) Viviendas, (37) Puerta de Marchena, (38) Jardín de la Vega Inclán y (39) Estanque del Jardín la Vega Inclán. Dibujo de los autores.

cota actual + 12 m s. n. m.), se levantó un muro divisorio mediante arcos que separó el nuevo Jardín del Chorrón del Jardín del Estanque (5) y se construyó un andén perimetral de un metro de anchura (Marín 1998; Tabales 2001).

— Estado de la cuestión

El abastecimiento de agua al Real Alcázar a través de los canales subterráneos de origen romano y del acueducto de construcción islámica, por su magnitud, han sido objeto de investigación desde el punto de vista tanto histórico como técnico (Valor y Romero 1995). En lo referente a la llegada de esta nueva cañería al palacio, último eslabón del acueducto, siempre se ha considerado por la trayectoria de la canalización, que su desembocadura debía producirse en la Torre del Agua (Jiménez 2014). Y que, desde allí, se controlaría y partiría un canal hacia el estanque de Mercurio, el principal reservorio de palacio destinado al riego. Sin embargo, nunca se han encontrado restos arqueológicos.

La Torre del Agua formaba parte del recinto militar de la primera alcazaba omeya (Tabales 2002). Sólo conserva en su cara suroeste una acequia adherida por el exterior (28). Por su pendiente sabemos que este canal era el responsable de llevar el agua procedente del acueducto, desde el arca principal de distribución (9) a los estanques de Mercurio (4) y al ubicado en el Jardín de la Vega Inclán (antiguas huertas) (39). Esta acequia tiene una parte cubierta y otra al aire libre, y una longitud total hasta el estanque de Mercurio de 4,70 metros. En el siglo XX se demolió un tramo de esta acequia tras la apertura de un vano para la instalación de la Puerta de Marchena (37). Al ser la torre aparentemente maciza, la hipótesis muchas veces reiterada de que la cañería nueva atravesaba la torre y alcanzaba esta acequia, no es viable.

La denominación del Jardín del Chorrón desde el siglo XVI también ha suscitado interpretaciones. Diferentes investigadores han sugerido que el nombre del *chorrón* o *chorro* podría proceder del sonido causado por el salto de agua al caer a una acequia que la conduciría a un posible

estanque al pie de la torre del agua, o al caer en el estanque de Mercurio (Pleguezuelo 2019; Marín 1998). Tan sólo son especulaciones, pues no existen referencias históricas ni indicios arqueológicos que lo avalen.

Hasta el presente, no existían estudios que muestren el modo en que se distribuía el agua procedente del acueducto. Por ello, nuestro mayor interés ha sido realizar una investigación acerca del final de esta importante infraestructura hidráulica que suministró, durante más de siete siglos, agua al Real Alcázar. El objetivo principal ha sido descubrir la ubicación del arca principal de distribución y estudiar su funcionamiento de control hídrico y distribución, aportando información útil para su puesta en valor.

Metodología

El procedimiento para realizar una investigación sobre el Patrimonio Hidráulico dentro de un complejo tan transformado como es el Alcázar conllevó numerosas dificultades. Resulta a menudo difícil observar la dirección que tomaban las canalizaciones subterráneas que en numerosas ocasiones se encuentran ocultas o fragmentadas. Por ello ha sido necesario aplicar el método plural de estudio.

En primer lugar, siguiendo un método filológico documental y gráfico, hemos reunido las escasas referencias históricas escritas y gráficas durante la consulta en el Archivo Histórico del Alcázar y todos los estudios publicados hasta el momento sobre las actuaciones y las reformas realizadas en el arca de distribución. De la extensa planimetría histórica del Alcázar, únicamente hay un plano de 1885 de la antigua empresa de abastecimiento de la ciudad *The Seville Water Works*, que nos ha facilitado reconocer la dirección que tomaban las canalizaciones de distribución al palacio. En él no aparece descrita ni levantada planimétricamente el arca de distribución.

En segundo lugar, se ha realizado un reconocimiento del lugar para la búsqueda *in situ* de indicios, basándonos en la trayectoria del acueducto, con el fin de localizar la posible ubicación del arca. Como consecuencia de dichos trabajos de exploración, se produjo el valioso descubrimiento de los restos del arca inéditos hasta el momento, cubiertos bajo objetos en el pavimento de una pequeña habitación en el interior de la muralla.

Posteriormente se realizó un trabajo topográfico analizando las cotas sobre el nivel del mar de los vestigios aún existentes. Se han estudiado las cotas de la cañería cerámica del acueducto ubicada en la muralla almohade y del arca de distribución para comprobar si podía salvar el vano del Postigo del Agua [Figura 9]. Y se han examinado los restos del arca: cañerías, arquetas, salidas de agua y acequia para poder comprender su sistema de funcionamiento y distribución de agua [Figura 4]. El sistema de referencia

empleado ha sido ETRS89, proyección UTM 30N y el programa de aplicación LEICA Geo Office 8.4. Estos datos han servido para establecer las coordenadas geográficas de referencia y la confirmación de que nuestras hipótesis sobre su ubicación y funcionamiento son correctas.

En el año 2000 comenzó la primera campaña general de investigación arqueológica en el Alcázar. Bajo la dirección del arqueólogo Miguel Ángel Tabales se realizaron cinco sondeos, entre los cuales se encontraba el Jardín del Chorrón. El estudio se realizó en la base de la muralla oriental, muy próximo a la Torre del Agua y adosado a la escalera de subida a un cuarto donde se han encontrado los restos del arca. Aquellos trabajos localizaron cuatro canalizaciones de abastecimiento de agua embutidas individualmente en cajas de ladrillo. Según el estudio fueron instaladas en distintas épocas. Dos de ellas se construyeron en el siglo XVII y las otras dos en el siglo XIX. Se le asignaron los códigos: U.E.C.996, U.E.C.997, U.E.C.998 y U.E.C.1007. Sin hallar el punto de partida de estas instalaciones hidráulicas, estas cañerías procedían de las proximidades de la Torre del Agua y tres de ellas se dirigían, en dirección sureste-noroeste, hacia palacio (TABALES 2000 y 2001). Estos resultados han sido claves para realizar la prospección del entorno con la que se ha podido avanzar una primera cronología de las intervenciones realizadas en distintas épocas en el arca.

Finalmente, con los datos recopilados se han realizado planos de ubicación y de detalles del objeto de estudio. Con las cotas hidráulicas establecidas y la planimetría tanto en planta como en sección, se ha podido corroborar nuestra hipótesis sobre la llegada de la *cañería nueva* al arca de distribución y se han elaborado dos modelos de distintas etapas del sistema distribución. Para el levantamiento planimétrico se ha empleado el sistema internacional de medidas (SI). La base del plano general del Real Alcázar ha sido tomada del levantamiento planimétrico dirigido por Antonio Almagro Gorbea en el año 2003 (Almagro 2003).

Resultados

Al analizar las escasas referencias históricas, se ha encontrado un documento de 1572 en el que se menciona que se acordó la construcción de un alero en la parte superior de la puerta del *almacén de repartimiento* (el arca) (Gestoso 1889), y que tres años más tarde, los carpinteros le colocaron un marco (a nuestro entender para la puerta del cuarto)^[1] (Marín 1990). Por tanto, no queda duda alguna de que, a finales del siglo XVI, ya estaba en funcionamiento un sistema de distribución de agua en este jardín que, por la fecha de las actuaciones, debió ser utilizada para recibir el agua de la *cañería vieja*. También se reconoce en esta actuación que se sustituyó algún tramo de la antigua atarjea, que iba por fuera de la tapia de este jardín (Marín 1990). A partir de entonces no se conocen más datos sobre esta infraestructura hidráulica.

— Localización y emplazamiento

Una vez desarrollados los antecedentes históricos y acreditado que debió existir una arqueta primitiva en el Jardín del Chorrón, en la exploración de campo se ha descubierto un sistema de distribución de agua. Éste estaba oculto en un pequeño cuarto inserto en la antigua muralla del Alcázar, y adosado a la cara norte de la Torre del Agua. Este habitáculo está elevado del nivel del suelo del jardín 0,83 metros, y se accede a él mediante una escalera de cinco peldaños. El emplazamiento de esta arca gozaba de una situación privilegiada porque está en el lugar más cercano a la llegada de las dos canalizaciones a palacio, en la cota más elevada posible del recinto (+ 12,82 m s. n. m.) y en una zona estratégica para distribuir el agua al palacio y/o a las huertas y los jardines [Figuras 3a y b].

— Estado actual de la antigua arca de distribución. Levantamiento planimétrico

El habitáculo donde se ha descubierto el arca de distribución de agua es un pequeño cuarto con una bóveda de arco rebajado y con una dimensión en planta de 1,70 por 1,50 metros [Figuras 4a y b].

Al fondo, lado este, el cuarto mantiene una puerta tapiada en la muralla (35) y a nivel del pavimento se encuentra el arca de estructura muy sencilla. A la derecha de la puerta tapiada se observa una cañería cerámica de aproximadamente 230 mm de diámetro (desgastada por el paso del tiempo): que es la desembocadura del acueducto (7). No se detecta altura o nivel de la cal del agua en su interior que ayude a obtener el caudal teórico o la



Figura 3.- Ubicación del arca principal de distribución del Alcázar. (a) Imagen de la puerta de acceso al cuarto en el Jardín del Chorrón. (b) Plano de la localización de la arqueta. (1) Postigo del agua, (2) Jardín del Chorrón, (3) Torre del Agua, (6) Cañería vieja, (7) Cañería nueva, (8) Arcas secundarias, (9) Arqueta de distribución, (28) Acequia Torre del Agua, (33) Escalera, (36) Viviendas y (38) Jardín de la Vega Inclán



Figura 4.- Estado actual de la arca de distribución. (a) Dimensiones y cotas topográficas. (b) Hipótesis de su configuración. (7) Cañería nueva, (11) Arqueta de amortiguamiento, (12) Acequia de distribución, (13) Salida de agua, (14) Rebosadero, (15) y (16) Salida de agua con arqueta, (17) y (18) Conexión entre acequia y salida de agua, (19) hasta (23) Canalizaciones de plomo, (24) y (25) Llaves de paso, (28) Acequia Torre del Agua, (33) Escalera, (34) Puerta de acceso y (35) Puerta tapiada.

aportación de agua que recibía el palacio. La cota mínima de la lámina de agua y salida de esta canalización está a +12,53 m s. n. m. En el borde de esta cañería se observan, a una cota superior, las vías de una antigua compuerta (10) (+12,67 m s. n. m). El siguiente elemento del arca es una arqueta desarenadora (11) de 0,56 metros de profundidad (+12,26 m s. n. m.).

En el centro del arca hay una acequia de distribución (12) de 17 cm de profundidad que se encuentra a la cota + 12,47 m s. n. m. y que dirige toda el agua a tres salidas con distinto diámetro. La primera salida (13) es un orificio de 130 mm de diámetro ubicado en el suelo y las otras dos salidas (15, 16) son de 120 mm de diámetro y están dentro de sus correspondientes arquetas. El agua discurre hacia estas dos arquetas a través de unos orificios en la acequia

(17, 18). Los tres orificios (13, 15, 16) se encuentran a la cota +12,46 m s. n. m.

Finalmente, en el lateral suroeste del cuarto, el más próximo a la puerta de acceso, hay un rebosadero (14) de 130 mm de diámetro (+12,67 m s. n. m. misma cota que la compuerta de la cañería principal). Se observan también cuatro canalizaciones pequeñas de plomo, probablemente del siglo XIX o XX, de entre 2 y 3 cm de diámetro (19, 20, 21, 22 y 23) y dos llaves de paso (24 y 25). Además, en el pavimento de la arqueta y en la acequia (12) aparecen restos de un revestimiento de azulejos de gran calidad con dibujos policromados (26), muy similar al de la acequia de la Torre del Agua (28) que, según nuestro criterio, debe ser de finales del siglo XVI o principios del siglo XVII [Figuras 4, 5 y 6].



Figura 5.- Estado actual del arca de distribución. (7) Cañería nueva, (10) Compuerta, (11) Arqueta de amortiguamiento, (12) Acequia de distribución, (13) Salida de agua, (14) Rebosadero, (15) y (16) Salida de agua con arqueta, (17) y (18) Conexión entre acequia y salida de agua, (19 al 23) Canalizaciones de plomo, (24) y (25) Llaves de paso, (26) Azulejos policromados, (27) Relleno de hormigón, (34) Puerta de acceso y (35) Puerta tapiada.

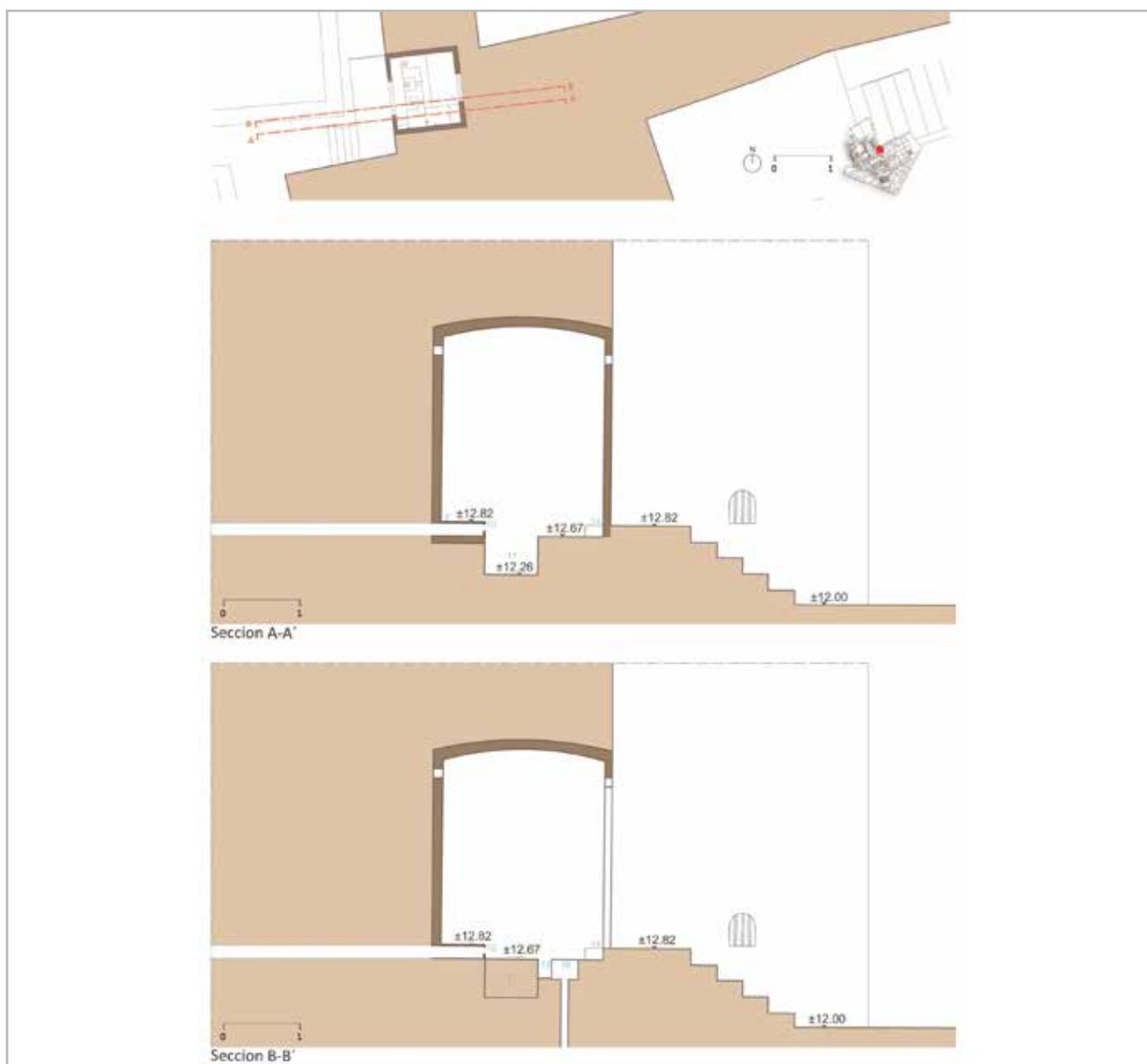


Figura 6.- Secciones del arca de distribución. Dibujo de los autores.

—*Sistema de funcionamiento*

Consideramos que el modo de funcionamiento del arca de distribución debió ser transformada en algún momento pues se observa la existencia de al menos dos sistemas diferentes de distribución del agua. El primer sistema estaba compuesto por una entrada de agua (7) y dos salidas (13 y 14). Consistía en que el agua procedente del acueducto (7), era recibida por la primera arqueta (11) que actuaba como amortiguador de su velocidad y como desarenador para la limpieza del agua. Creemos que inicialmente el agua de conducción (7) saldría por la parte inferior (19) a la cota +12,53 m s. n. m. y que los restos de la compuerta en el borde (10), por el aspecto que presenta, debe ser una instalación posterior. Cuando la primera arqueta rebosaba (11), el agua era conducida hacia palacio por la acequia central (12) que terminaba en el orificio de salida de la canalización (13). El motivo por el

que pensamos que ésta era la salida de agua más antigua nos lo ha mostrado el estudio arqueológico realizado en el Jardín del Chorrón. La canalización identificada en el estudio como UEC 1007 (29) a la cota + 11,10 m s. n. m. está datada en el siglo XVII y orientada en dirección norte-sur [Figura 7a y b] (Tabales 2001), mismo siglo en el que se revistió el pavimento del arca con azulejos (26). Por lo tanto, tal vez nos encontremos ante el arca reformada en el mencionado siglo XVII.

De igual modo, el remanente de agua también podía ser conducido a través del rebosadero al conducto (14). Nuestra hipótesis inicial es que este conducto terminaba en el estanque de Mercurio para regar los jardines a través de la acequia que bordea la fachada oeste de la Torre del Agua (28). Esta suposición fue confirmada cuando introdujimos, en el trabajo de campo, una sonda por esta canalización que salió por la acequia.



Figura 7.- Canalizaciones encontradas en el estudio arqueológico. (a) Canalización U.E.C.1007. (b) La canalización U.E.C.1007 se encuentra próxima a la escalera de acceso al arca y se dirige hacia palacio. (c) Canalizaciones U.E.C.996, U.E.C.997 y U.E.C.998. (d) Las canalizaciones U.E.C.996 y U.E.C.998 se encuentran próxima a la escalera y se dirigen hacia palacio. Imágenes de Tabales Rodríguez. Dibujo de los autores. Leyenda: (2) Jardín del Chorrón, (3) Torre del Agua, (8) arcas secundarias, (9) arqueta de distribución, (29) cañería U.E.C.1007, (30) cañería U.E.C.998, (31) cañería U.E.C.996, (32) cañería U.E.C.997 y (38) Jardín de la Vega Inclán.

La siguiente reforma debió ocurrir con la apertura de dos nuevas salidas de agua (15 y 16) en el siglo XIX. Se llega a esta conclusión por otras dos canalizaciones encontradas en la excavación arqueológica [Figuras 7c y d]. Identificadas como U.E.C.996 (+11,59 m s. n. m.) (31) y U.E.C.998 (+11,25/+10,90 m s. n. m.) (30), corren en dirección sureste-noroeste hacia palacio y están datadas en esta época (Tabales 2001). Estas dos canalizaciones coinciden con la ubicación de las salidas de agua. Por tanto, la construcción de las dos arquetas con sus correspondientes orificios de salida encontradas en el arca debió realizarse en el siglo XIX. Por la forma rehundida que tienen estos orificios (15 y 16), pensamos que el modo de enviar agua a través de ellos pudiera ser mediante tapones de bronce.

En este nivel de excavación también se ha detectado una canalización U.E.C.997 (+11,25 m s. n. m.) (32) que según el estudio arqueológico fue instalada en el siglo XVII. Su punto de partida se encuentra más alejado del arca de distribución por lo que pensamos que no debe tener relación con este sistema de distribución.

El lugar hacia donde se dirigían las tres cañerías (29, 30 y 31) es difícil de reconocer. El único dato que hemos encontrado aparece en un plano de la antigua empresa The Seville Water Works, que la actual empresa municipal de agua de la ciudad (EMASESA) mantiene en custodia en su archivo. Está datada en el año 1885 [Figura 8]. Se realizó con la intención



Figura 8.- El trazo azul representa el recorrido de las antiguas cañerías desde la arqueta de distribución (margen izquierdo) hacia palacio y/o jardines. La línea continua son las canalizaciones ya descubiertas en trabajos arqueológicos. Procedencia: Archivo Histórico Emasesa, Sevilla, Fondo Cartoteca Histórica. Número de ficha de plano 7243.

de estudiar la nueva instalación del servicio contra incendio para el Alcázar mediante agua a presión. En el plano se encuentra el arca de distribución representada con poca exactitud y se reflejan las cañerías antiguas (según leyenda) que salen del arca. Hay dibujadas tres canalizaciones: una se

dirige en dirección sur hacia los jardines, otra hacia el norte en dirección al Jardín de la Alcubilla y la última, en dirección sureste-noroeste hacia los patios del Crucero, de la Montería y León y al Jardín del Príncipe. Pensamos que ésta representa las tres canalizaciones detectadas en el estudio arqueológico.

Discusión

El primer objetivo de esta investigación era saber si el arca general de distribución estaba destinada para recibir el agua de la *cañería vieja* o de la *nueva*. Comprobada la alineación de la muralla, las dos tuberías del acueducto y del arca mediante un levantamiento del plano en planta [Figura 3b], se descubrió que esta arqueta debió ser destinada para la *cañería nueva* construida en 1622 y es muy probable que, anteriormente ésta fuese también la ubicación de una arqueta primitiva para la *cañería vieja*. Esta conclusión se ha confirmado con el trabajo topográfico realizado, ya que el postigo del Agua no representa un obstáculo para que la *cañería nueva* alcanzase el arca de distribución. Los elementos que han demostrado nuestra hipótesis de partida han sido: la cota de los restos de la *cañería nueva* en la plaza de Alfaro que se encuentra a 175 metros del arca (+12,96 m s. n. m.), la altura del Postigo del Agua (+12,78 m s. n. m.) y la cota de llegada de la cañería descubierta en la arqueta (+12,53 m s. n. m.). Tomando las cotas topográficas del vano del postigo por la calle Judería, se ha podido determinar que la cañería nueva va justamente por encima del arco y dintel de la puerta, prácticamente en línea recta [Figura 9]. Otro dato que hemos obtenido en este estudio es que la pendiente de la cañería nueva desde la plaza de Alfaro hasta el postigo del Agua es mínima (0,1 %) pero que, sin embargo, a partir de la puerta, la cañería mantiene una pendiente más pronunciada para poder alcanzar el arca de distribución (2 %).

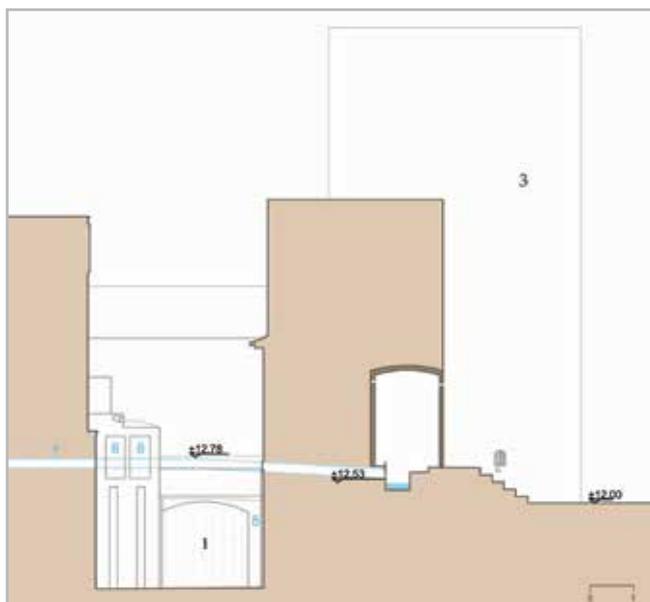


Figura 9.- Postigo del Agua y el arca de distribución en el Real Alcázar. Estado actual. Hipótesis del lugar donde se ubica la cañería nueva. Dibujo de los autores. Leyenda: (3) Torre del Agua, (7) Cañería nueva y (8) arcas secundarias.

El segundo objetivo era identificar la configuración de los dos sistemas de funcionamiento detectados. Hemos datado la primera construcción en el siglo XVII, pero consideramos que el conducto del rebosadero (14) debió ser anteriormente una acequia. Llegamos a esta conclusión por tres motivos: el primero es el material que presenta el suelo donde reposa esta canalización (14), ya que parece indicar que es un relleno de hormigón (27) que debió, a nuestro parecer, ser ejecutado entre 1880 y 1912 y que, posteriormente se instaló sobre ella la canalización [Figura 5]. El segundo es porque se aprecia en el interior de la parte cubierta de la acequia perimetral de la Torre del Agua (28), que la conexión actual oculta en el descansillo de la escalera con el conducto del rebosadero (14) es mediante una tubería de hormigón más moderna. Y el tercer motivo es porque la cota hidráulica de la cañería del rebosadero (14) (+12,67 m s. n. m.) está actualmente más elevada que la llegada del acueducto al arca general de distribución o cañería (7) (+ 12,53 m s. n. m.). Por ello, pensamos que la compuerta (10) existente en la salida de la conducción (7) fue instalada posteriormente junto a la cañería (14), ambas a la misma cota.

No sabemos a qué cota estaría esta acequia primitiva que enviaba agua a los jardines, pero deducimos que esta arca tendría un orden de preferencia. En primer lugar, el agua sería enviada al palacio por la salida (13) y, en segundo, a los jardines (14). Como consecuencia del estudio realizado consideramos que el modo empleado para distribuir el agua del arca era mediante la manipulación de compuertas que desviarían el agua al palacio y/o los jardines según interés. Si el palacio no necesitaba agua, el aporte constante de agua recibida del acueducto era desviado hacia el rebosadero que enviaba agua hacia el estanque que, además de utilizarse para el riego, serviría de sistema de acumulación del agua sobrante.

Se desconoce el momento en que se modificó la acequia que llevaba agua a los jardines por la cañería (14). Tal vez ocurrió en la segunda reforma del arca en el siglo XIX o cuando se construyó la escalera de acceso al cuarto en el siglo XX (Tabales 2001). Pero si hay algo que desconcierta en esta investigación es que la cota de esta canalización se encuentra a la misma altura que la base de la compuerta (10) de la cañería nueva (7) (+12,67 m s. n. m.), la más alta de todo este sistema hidráulico. El único modo de trasladar agua a los jardines en el siglo XIX sería tapando las canalizaciones que llevaban agua a palacio e inundar prácticamente 20 centímetros del arca, la altura a la que se encuentra la cañería del rebosadero (14). La pendiente existente del 2 % entre el Postigo del Agua (+12,78 m s. n. m.) y la cota de llegada de la cañería principal (7) (+12,53 m s. n. m.) controlaría que el agua no retornara por la cañería nueva. Nos queda la incógnita de saber por qué se elevó esta cañería que llevaba agua a los jardines.

Con la información obtenida en esta investigación, hemos realizado una primera hipótesis de la configuración que mantuvo la principal arqueta de distribución del Alcázar en distintos periodos [Figura 10].

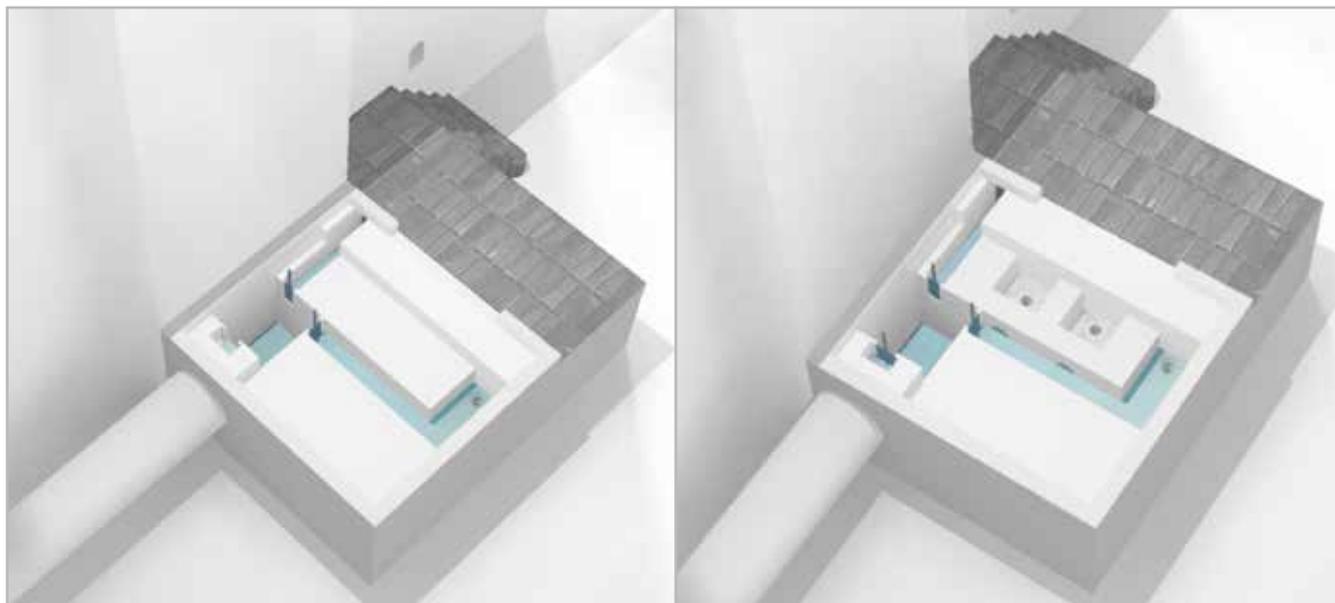


Figura 10.- Hipótesis de la configuración del arca. (a) Siglo XVII. (b) Siglo XIX. Dibujo de los autores.

Conclusiones

El hallazgo de esta antigua infraestructura de capital importancia para el abastecimiento hídrico del Alcázar, permite explicar en su totalidad el funcionamiento del acueducto entre los siglos XVII y XIX, aportando un dato clave como es su punto de entrada en el conjunto palaciego. Se resuelve, por tanto, una cuestión hasta ahora no resuelta, dado que las teorías anteriores no eran consistentes. Da a conocer el sistema de distribución diseñado, los sistemas implementados para mejorar la calidad del agua recibida (decantadores) y la forma de distribución, priorizando a base de cotas las necesidades en función de la disponibilidad de un recurso fluctuante en el tiempo.

Mediante el estudio planimétrico se ha detectado que esta arca estaba diseñada para recibir el agua de la cañería nueva construida por Vermondo Resta en 1622. Probablemente sustituyó a una anterior que recibiera agua de la cañería vieja. Con el análisis arqueológico también se ha desvelado que la salida de agua (13) y canalización (29) que enviaban agua al palacio, fueron instaladas en este mismo periodo. Por las soluciones aportadas, pensamos que la denominación del Chorrón debió producirse por el sonido de la caída del agua desde la salida de agua del arca (14) a la acequia de la Torre del Agua que se dirigía al estanque (28).

La reforma realizada en el siglo XIX con la instalación de dos nuevas cañerías (30 y 31) debió ser con la intención de aumentar el suministro de agua de palacio. Lo que no se ha podido corroborar es la fecha y el motivo por las que se colocaron las canalizaciones de plomo y las llaves de paso observadas en el paramento de la torre (19-25).

La identificación y caracterización de esta arca de reparto, hasta ahora no reconocida como tal, facilita su conservación y puesta en valor y abre nuevas vías de investigación para

completar el conocimiento hidráulico del Alcázar. Confiamos que en el futuro se puedan realizar nuevos trabajos de arqueología en el perímetro del arca, que permitan reconocer hacia dónde se dirigían los restos de las tuberías y con qué propósito. Igualmente, sería conveniente abrir la puerta tapiada del interior del arca y retirar el enfoscado de la pared sur, la más próxima a la Torre del Agua, para observar los restos conservados y la dirección que toman las canalizaciones.

Mejorar el conocimiento sobre las infraestructuras hidráulicas del Alcázar facilita la interpretación y comprensión general del conjunto palaciego, su singularidad, a la vez que permite difundir el valor de la tecnología tradicional, cuyas soluciones y precisión con unos medios rudimentarios en relación con los actuales, supone un recurso educativo y de difusión de primer orden. Aporta perspectiva histórica al problema del abastecimiento de agua, lo que sería fácilmente incorporable a la interpretación del conjunto. Además, ofrece mayor seguridad en la conservación del bien ya que, al distinguir elementos de diferentes épocas y factura, es posible abordar su restauración con criterios temporales y técnicos más fiables. Es por ello por lo que la conservación se convierte en un recurso patrimonial indispensable de un bien cultural, educativo y turístico, tratando de sensibilizar a la sociedad de la importancia de reconocer el valor de su preservación.

Agradecimientos: La presente investigación ha sido posible gracias a la colaboración del Real Alcázar de Sevilla. A su directora Dña. Isabel Rodríguez Rodríguez por abrirnos las puertas de palacio para esta investigación, al jefe de actividades D. Manuel Hurtado y al capataz de jardinería D. Antonio García Burgos por su gran apoyo y capacidad investigadora. Agradecemos también la colaboración de D. Ignacio Rivero Moreno responsable de Documentación Gráfica y Archivo Técnico de EMASESA, y a los arquitectos Antonio Dipadova y Alessandro Angiulli por su colaboración en la expresión gráfica.

Notas

[1] Sevilla, Archivo Histórico del Real Alcázar, leg. 155. Hijuela del año 1573 y 1575.

Referencias

ALMAGRO GORBEA A. (2003). "Planimetría del Alcázar de Sevilla" *Loggia*, 14-15: 156-161. <https://doi.org/10.4995/loggia.2003.3563>

APARICIO CARRILLO, M. D. y MARCHENA GÓMEZ, M. J. (2011). *100 planos de EMASESA*. Sevilla: EMASESA Metropolitana.

BANDRÉS, C.; ROBADOR, M.D. y ALBARDONEDO, A. (2017). "Hydraulic Study of the Water Supply to the City of Seville through its Aqueduct between the 17th and 19th Centuries" *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 245: 1-11. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/8/082001>

COLLANTES TERÁN DELORME, F. (1968). *Inventario de los papeles del Mayordomazgo del siglo XIV*. Sevilla: Ayuntamiento de Sevilla, Delegación de Cultura, Sección de Publicaciones.

FERNÁNDEZ CHAVES, M.F. (2004). "Entre Fortaleza y Palacio: el Abastecimiento de Agua en el Alcázar de Sevilla: frontera de espacios, marca entre poderes". En *V Estudios de Frontera*, Jaén: Diputación Provincial de Jaén, 199-208.

FERNÁNDEZ CHAVES, M.F. (2011). *Los Caños de Carmona y el abastecimiento de agua en la Sevilla moderna*. Sevilla: Emasesa Metropolitana.

GARCÍA RIVERO, F. (1997). *Orígenes e historias de Alcalá de Guadaíra*. Sevilla: Ayuntamiento de Alcalá de Guadaíra.

GESTOSO Y PÉREZ, J. (1889). *Sevilla monumental y artística: historia y descripción de todos los edificios notables, religiosos y civiles, que existen actualmente en esta ciudad y noticia de las preciosidades artísticas y arqueológicas que en ellos se conservan*. Vol. 1. Sevilla: Oficina tipográfica de El Conservador.

IBN SAHIB AL-SALÁ. (1969). *Al-Mann Bil-Imama*, Estudios preliminar; traducción por Huici-Miranda. A. Valencia: Valencia Anubar.

JIMÉNEZ MARTÍN, A. (2007). "Los caños de Carmona, por do va el agua a Sevilla. Implicaciones urbanas del acueducto construido por al-Hayy Yacis, inaugurado el domingo 13 de febrero de 1172". En *Aula Hernán Ruiz 2007, La Catedral en la ciudad (III). Los Caños y los difuntos*, Vol. 1. Sevilla, 22-48. <https://www.academia.edu/8886817/>

JIMÉNEZ MARTÍN, A. (2014). "Puerta de la Judería" en B. Navarrete Prieto y M. Fernández Gómez ed. *Historia y Patrimonio del Ayuntamiento de Sevilla*, Vol II. Sevilla, ICAS: Instituto de la cultura y las artes del Ayuntamiento de Sevilla, 22-23.

MARÍN FIDALGO, A. (1990). *El Alcázar de Sevilla bajo los Austrias*. Vol 1 y 2 Sevilla: Ediciones Guadalquivir S.L.

MARÍN FIDALGO, A. (1998). "Los jardines del Alcázar de Sevilla durante

los siglos XVI y XVII: intervenciones y ordenación del conjunto en el quinientos", *Cuadernos de La Alhambra* 24, 109-142. <http://www.alhambra-patronato.es/ria/handle/10514/14142>

PLEGUEZUELO, A. (2019) "El estanque de Mercurio del Alcázar de Sevilla (1572-1577); un balance de pérdidas", *Laboratorio de Arte*, 31: 209-228. <https://doi.org/10.12795/LA.2019.i31.12>

TABALES RODRÍGUEZ, M.A. (2000). "Investigaciones arqueológicas en el Alcázar de Sevilla. Campaña 2000", *Anuario Arqueológico de Andalucía*, 2: 46. <https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Anuario-arqueologico/Anuario-2000/Sistematicas.pdf>

TABALES RODRÍGUEZ, M.A. (2001). *Análisis arqueológico del Real Alcázar de Sevilla, memoria año 2000, sondeos estratigráficos II (SE/VI – SE/IX): Proyecto general de investigación*. Sevilla: Patronato del Real Alcázar.

TABALES RODRÍGUEZ, M.A. (2002). *El Alcázar de Sevilla: primeros estudios sobre estratigrafía y evolución constructiva*. Sevilla, Patronato del Real Alcázar.

VALOR PIECHOTTA, M. y ROMERO GUTIÉRREZ, V. (1995). "El abastecimiento de agua", en M. Valor Piechotta ed., *El último siglo de la Sevilla islámica (1147-1248): Exposición Real Alcázar de Sevilla 5 diciembre 95 – 14 febrero 96*. Sevilla: Universidad de Sevilla, Gerencia Municipal de Urbanismo, 269-283.

Author/s



Candela Bandrés Mariscal

mbandres@us.es

Universidad de Sevilla

<https://orcid.org/0000-0002-3768-793X>

Arquitecta técnica, Ingeniera de la Edificación y máster en Arquitectura y Patrimonio Histórico. Actualmente dentro del programa de doctorado de Arquitectura. Fue sustituto interino durante cinco años en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas II de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación. La actividad investigadora desarrollada se centra en el ámbito de la arquitectura hidráulica medieval.



Antonio José Albardonedo Freire

aaf@us.es

Universidad de Sevilla

<https://orcid.org/0000-0003-1435-809X>

Doctor en Historia del Arte. Profesor Titular jubilado de Historia del Arte en la Universidad de Sevilla. Ha publicado numerosos libros, artículos y dirigido varias tesis. Ha participado en 4 proyectos de investigación sujetos a convocatorias competitivas, 3 Proyectos I+D del Plan Nacional; un Proyecto Europeo de la convocatoria Charisma Molab, junto con el CNRS del Louvre, Francia, y el CNR de Italia.



Miguel Ángel Tabales Rodríguez
tabales@us.es
Universidad de Sevilla
<https://orcid.org/0000-0002-9884-7407>

Doctor en Historia, Sección Arqueología por la Universidad de Sevilla. Catedrático de Escuela Universitaria. Profesor Titular de Historia de la Construcción y Arqueología y Construcción en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas II de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación. Es responsable del proyecto de investigación arqueológica del Real Alcázar de Sevilla desde 1997. Es autor de numerosos libros, artículos y contribuciones a congresos centrados en la Arqueología de la Arquitectura.



María Dolores Robador González
lolarobador@us.es
Universidad de Sevilla
<https://orcid.org/0000-0002-4662-4949>

Doctora en Arquitectura por la Universidad de Sevilla. Catedrático de Universidad de Restauración y Materiales en el área de Construcciones Arquitectónicas. Especialización en intervención en restauración de patrimonio histórico y jardines. Ha realizado proyectos de restauración en el Real Alcázar de Sevilla, destacando los patios y jardines del Príncipe, Troya, Galera y Danza, la Puerta de Marchena y el Cenador y Jardín del León habiendo por él recibido el I Premio COAS Ciudad Paisaje y Territorio. Ha dirigido proyectos de investigación financiado en convocatorias competitivas autonómicas, nacionales y europeas. Ha realizado estancias de investigación en París, en el Laboratorio del Louvre y en la Sorbona.

Artículo enviado el 15/10/2021
Artículo aceptado el 30/01/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1069>

Las estancias de formación de restauradores españoles en el Istituto Centrale del Restauro de Roma (1958-1960)

María Concepción García Cabarcos

Resumen: En este artículo damos a conocer las estancias de formación de tres restauradores españoles becados por la Fundación Juan March para viajar a Italia y formarse en el Istituto Centrale del Restauro de Roma (ICR). Gracias a estas becas cumplieron su deseo de conocer la práctica de las nuevas técnicas de conservación y restauración y la teoría y el funcionamiento de las aplicaciones científicas desarrolladas en uno de los centros pioneros en Europa. Tras estos viajes, realizados entre 1958 y 1960, Francisco Garrido Sánchez (1912-doc.1963), Gonzalo Perales Soriano (1920-2008) y Francisco Núñez de Celis (1919-1996), se convirtieron en apóstoles en nuestro país de las técnicas italianas más avanzadas y de la implantación de la metodología científica en la conservación y restauración de pinturas. En noviembre de 1961, el modelo italiano de instituto de restauración se instauró en Madrid con la creación del Instituto Central de Conservación y Restauración (ICCR).

Palabras clave: restauración, ciencia, historia de la conservación y restauración, Becas Fundación Juan March, junta de conservación de obras de arte, Francisco Garrido Sánchez, Gonzalo Perales Soriano, Francisco Núñez de Celis

Training stays for Spanish restorers at the Istituto Centrale del Restauro in Rome (1958-1960)

Abstract: In this article we provide information on the stays of three Spanish restorers who received training grants from the Juan March Foundation at the Istituto Centrale del Restauro in Rome. Thanks to these grants they were able to learn the practice of new conservation and restoration techniques and the operation of scientific applications developed in one of the pioneering centers in Europe. After these journeys, carried out between 1958 and 1960, the restorers Francisco Garrido Sánchez, Gonzalo Perales Soriano and Francisco Núñez de Celis apostles in our country of the most advanced Italian techniques and of the implementation of scientific methodology in conservation and restoration of paintings. In November 1961, the Italian model of restoration institute was introduced in Madrid with the creation of the Central Institute of Conservation and Restoration (ICCR).

Keywords: restoration, science, history of conservation and restoration, Juan March Foundation Grants, junta de conservación de obras de arte, Francisco Garrido Sánchez, Gonzalo Perales Soriano, Francisco Núñez de Celis

Estágios de formação de restauradores espanhóis no Istituto Centrale del Restauro de Roma(1958-1960)

Resumo: Neste artigo damos a conhecer os estágios de formação de três restauradores espanhóis, bolsistas pela Fundação Juan March para viajar à Itália e formarem-se no Istituto Centrale del Restauro de Roma (ICR). Graças a estas bolsas, cumpriram o seu desejo de conhecer a prática das novas técnicas de conservação e restauro, a teoria e o funcionamento das aplicações científicas desenvolvidas num dos centros pioneiros da Europa. Depois destas viagens, realizadas entre 1958 e 1960, Francisco Garrido Sánchez (1912-doc.1963), Gonzalo Perales Soriano (1920-2008) e Francisco Núñez de Celis (1919-1996) tornaram-se, no nosso país, apóstolos das técnicas italianas mais avançadas e da implantação da metodologia científica na conservação e restauro de pinturas. Em novembro de 1961, o modelo italiano do Instituto de Restauro iniciou-se em Madrid com a criação do Instituto Central de Conservação e Restauro (ICCR).

Palavras-chave: restauro, ciência, história da conservação e restauro, bolsas Fundación Juan March, Junta de Conservação de Obras de Arte, Francisco Garrido Sánchez, Gonzalo Perales Soriano, Francisco Núñez de Celis

Introducción

El viaje a Italia como complemento a la formación académica oficial de artistas e intelectuales fue pensionado por diversas instituciones españolas como la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, desde el siglo XVIII, o la Academia de España en Roma desde su creación en 1873. A falta de bibliografía que aborde la formación en el extranjero de los profesionales españoles de la conservación y restauración^[1] (lo que sería una importante aportación para la historia de la disciplina en nuestro país), consideramos interesante dar a conocer aquí los viajes y experiencias de tres restauradores españoles que, entre 1958 y 1960 (antes de la creación y puesta en marcha en Madrid del Instituto Central de Conservación y Restauración (en adelante ICCR))^[2], viajaron a Italia para estudiar en el Istituto Centrale del Restauro de Roma^[3], gracias a las becas que convocaba por aquel entonces la Fundación Juan March (en adelante FJM)^[4]. Esta Fundación, creada en 1955 por el financiero Juan March Ordinas (1880-1962) tuvo como principal misión fomentar la cultura y la investigación en España. Desde 1956, y hasta finales de los años ochenta, ofreció diversas ayudas para estimular la investigación científica y la creación artística, musical y literaria (Sánchez Ron 2005).

Antes de dar paso a la información sobre los restauradores becados, es necesario contextualizar la situación de la restauración en España a finales de los años cincuenta. Si bien en los principales talleres oficiales la práctica de la restauración era prolifera, éstos adolecían de recursos técnicos y económicos para igualarse a los de los más adelantados museos e institutos europeos. Nos referimos a los talleres de restauración del Museo del Prado, la Escuela de Bellas Artes de San Fernando y Patrimonio Nacional. Estos importantes talleres seguían un criterio personalista mediante procedimientos empíricos, con “recetas” más o menos caseras y “soluciones tradicionales”. En cambio, en Europa se estaba desarrollando una nueva metodología, basada en el conocimiento de la naturaleza de los materiales, de su estructura y de su alteración para la práctica de la restauración, orientada a unificar los procedimientos empleados y que ya se estaba utilizando en diversos centros entre los que existía una estrecha colaboración. En ellos comenzaba a jugar un papel importante el estudio científico, la documentación y la investigación de nuevas técnicas y se exponía la necesidad de complementar la intuición y experiencia del restaurador (encargado del proceso de intervención de la obra de arte) mediante el uso de medios técnicos auxiliares que permitiesen tomar decisiones de una manera mucho más segura y objetiva^[5]. En España esta metodología se conocía únicamente por publicaciones y revistas especializadas y, sobre ella existían dos corrientes de pensamiento divergentes. Por un lado, había restauradores que consideraban innecesario el apoyo de la ciencia para restaurar, postura ésta defendida por ciertos profesionales bien posicionados laboralmente, como era el caso de la mayoría de restauradores de la plantilla del Museo del Prado y los más veteranos de la

Junta de Conservación de Obras de Arte^[6], como Manuel de Arpe y Retamino, que opinaba lo siguiente:

Examen espectrográfico - rayos infrarrojos - rayos ultravioletas - lámparas de cuarzo - rayos X - el colorímetro - examen microscópico - microfotografía [...] Nada de eso lo acepto como indispensable para la restauración de un cuadro. Se pueden hacer -se han hecho- restauraciones respetuosas e inmejorables sin pasar por los laboratorios de batas blancas. Puestos en esta época de moda, no sé por qué [...]. El que quiera hacerse un buen restaurador, es mi consejo que se deje de aparatos y estudie (Arpe y Retamino 1984: 10-11).

En cambio, los estudiantes de restauración y restauradores titulados por la Escuela de Bellas Artes de San Fernando de Madrid consideraban el apoyo científico como un beneficio para su trabajo. Desde la Academia se instaba a los alumnos a conocer las nuevas técnicas italianas de restauración y las aplicaciones científicas desarrolladas para el estudio de las obras de arte. Personalidades como E. Lafuente Ferrari, impulsaron y defendieron la necesidad de implementar en los talleres de restauración españoles la nueva metodología, abogando por “el cientifismo y la técnica de los aparatos”:

La innegable habilidad manual de los restauradores españoles no puede quedar desconectada de los avances en el conocimiento científico de la pintura y de los métodos auxiliares de la restauración empleados en los grandes Museos del mundo (E. Lafuente Ferrari 1960:16).

A los estudiantes de restauración de la Escuela de Bellas Artes de San Fernando se les adoctrinaba bajo estas premisas, alejándoles de “la enredada hebra de los talleres de restauración, donde solo imperaba la rutina -repetida siglo tras siglo- y la cerrazón mental de quienes, colocados voluntariamente en un plano superior, seguían rodeados de un misterio y de un silencio que en nada beneficiaba la salud de los cuadros deteriorados” (Núñez 1960:17). El restaurador moderno debía conocer las técnicas más avanzadas de restauración y todas aquellas aplicaciones científicas para un exacto conocimiento e interpretación de los fenómenos físicos y químicos causantes del envejecimiento y alteraciones de las obras.

La FJM hizo posible que restauradores españoles pudieran conocer de primera mano esta nueva metodología y practicar los procedimientos de restauración más vanguardistas.

Francisco Garrido Sánchez, restaurador en el Monasterio de El Escorial

El primer restaurador becado por la Fundación fue Francisco Garrido Sánchez (1912-doc.1963)^[7]. Sus primeros

estudios de restauración los cursó en la Escuela de Bellas Artes de San Fernando, bajo la dirección del catedrático Francisco Núñez Losada (1889-1973), donde restauró cuadros propiedad de particulares y de museos, como el Museo Provincial de Burgos, Museo Cerralbo, Museo Arqueológico Nacional y de colecciones como las del Ayuntamiento de El Escorial y del Pazo de Meirás. En 1953 entró a trabajar en Patrimonio Nacional en el taller del Real Monasterio de El Escorial^[8] [Figura 1].



Figura 1.- Francisco Garrido Sánchez (sentado) durante la restauración del *Martirio de San Lorenzo* de Tiziano, Monasterio de San Lorenzo de El Escorial, Madrid, 1953. © Museo Nacional del Prado.

En 1957 solicitó la pensión de la FJM con el propósito de conocer y formarse en el Istituto Centrale del Restauro de Roma y ayudar a establecer en Madrid un centro similar.

Mi propósito es estudiar en el Instituto [sic] del Restauro de Roma, hoy el más completo e importante del mundo, por sus instalaciones y métodos de análisis, de telas, preparaciones y pigmentos; traslados y engatillados modernos de tablas y conservación de pinturas de fresco. Todo ello encaminado a lograr con el tiempo y la ayuda oficial, a la creación de un

Instituto de Restauración en Madrid, donde la infinidad de cuadros que se pierden por Museos Provinciales, Catedrales e Iglesias de España, tengan su posibilidad de restaurarse^[9].

Respecto a lo referido por Garrido sobre la desprotección de las pinturas del patrimonio artístico español, debemos apuntar, que si bien en España no había un centro independiente dedicado a la conservación y restauración de obras de arte, sí contaba con un servicio oficial-creado en 1920, adscrito al Museo Nacional del Prado y perteneciente a la Dirección General de Bellas Artes y al entonces Ministerio de Educación Nacional- que se encargaba de las restauraciones de obras (pictóricas fundamentalmente) ubicadas en iglesias, catedrales o propiedad de particulares y museos provinciales de España. Este servicio, que acuñó desde 1924 el nombre de "Junta de Conservación de Obras de Arte", estaba constituido por una modesta plantilla de restauradores que trabajaba in situ o desde los talleres del Museo del Prado. Por tanto, de lo que carecía España era de un "instituto" especializado, con un número suficiente de empleados, destinado a la restauración del patrimonio artístico, a la vez que a la enseñanza y a la investigación en materia de conservación y restauración, similar al Istituto de Roma.

El Consejo del Patronato de la FJM, encargado de la adjudicación de las becas, aprobó la pretensión de Garrido y le concedió la pensión que le permitió viajar a Italia durante seis meses, de julio a diciembre de 1958. Durante este tiempo, permaneció en el Istituto Centrale del Restauro y en los Talleres Regionales de Restauración de Florencia y Nápoles. Además, aprovechó para visitar los museos y galerías de arte de las ciudades italianas más importantes^[10].

Una vez de regreso a España, dejó anotado en su Memoria^[11], una serie de impresiones sobre las restauraciones en Italia y el Istituto del Restauro que, por su importancia para la Historia de la conservación y la restauración en nuestro país, consideramos interesante incluir aquí parte del texto:

Es para mí una satisfacción constatar que en España practicamos los mismos métodos y técnica de la restauración sobre lienzos, tablas y frescos que Italia. La sola gran diferencia existente entre España e Italia en este campo es la variedad de medios empleados -económicos y técnicos- y la directa intervención de la Ciencia en estrecha colaboración con el Arte para analizar con toda minuciosidad la obra y conocer su radiografía. De esta fusión nace la perfección de los trabajos de restauración realizados en Italia^[12].

Detalló el funcionamiento y organización del Istituto Centrale del Restauro, siendo sus funciones principales la de formar técnicos de restauración, investigar acerca de los progresos de la misma técnica y realizar las restauraciones que le son encomendadas por la Dirección General de Bellas Artes. Es el órgano de enseñanza oficial

y sus cursos son de cuatro años (...). Posee Laboratorios de Física y Química, Fotográfico, Radiográfico, y las aulas necesarias para los diferentes cursos con una Escuela Especial. Depende administrativamente del Ministerio de Enseñanza, Dirección General de Bellas Artes.

España no contaba con un centro de estas características. Y describe la situación de esta manera:

En España actualmente sólo funcionan talleres de restauración en el Museo del Prado, Palacio Real y el volante de El Escorial. Así mismo, la labor que se realiza en la clase de Restauración de la Escuela Central de Bellas Artes de San Fernando. Pero esta labor queda circunscrita al patrimonio exclusivo de estas entidades, quedando del todo abandonadas las innumerables obras de arte dispersas en todo el territorio nacional^[13].

Según refiere Garrido, las obras del patrimonio artístico español estaban descuidadas por los poderes públicos, lo que nos podría hacer pensar que el servicio de la Junta de Conservación de Obras de Arte, anteriormente citado, estaba inactivo en los últimos años de la década de los cincuenta. En contra de esta afirmación, hemos podido comprobar, que la Junta llevó a cabo restauraciones en el Museo provincial de Granada en 1957^[14] y posterior a esa fecha, en el Parador Nacional de Gredos (Ávila) en 1959^[15], por tanto, el traslado de restauradores a las diferentes provincias aún continuaba activo, aunque de manera esporádica, si lo comparamos con décadas anteriores (García Cabarcos 2021: 253). La plantilla de la Junta siempre fue modesta para el gran número de obras de arte que poseía la nación, y cierto es, que sólo disponía de restauradores de pintura, escultura y mosaicos. Concluimos, por tanto, que el servicio de la Junta seguía restaurando obras de iglesias, catedrales, particulares y de museos provinciales dando preferencia al traslado de las obras a los talleres del Museo del Prado antes que al envío de los restauradores a los lugares de procedencia de las obras. Otra cosa es que estas intervenciones no tuvieran difusión o trascendencia fuera del Museo del Prado.

En su estancia en el Istituto de Roma Garrido aprendió nuevos tratamientos de restauración, y destacó de manera particular la forración y montaje de una pintura con "sistema elástico" [Figura 2], el cual dejó explicado y fotografiado en cuartillas anexas a su Memoria. El cuadro al que se le aplicó este sistema es la *Decapitación de San Juan Bautista* de Caravaggio que, procedente de la Catedral de Malta, fue trasladado al Istituto de Roma para su forración y limpieza. Las operaciones que se llevaron a cabo en el lienzo (550 x 700 cm) fueron supervisadas por el profesor Caritá, y a pesar de que se realizaron con anterioridad a la estancia de Garrido en Roma, este ingenioso tratamiento le suscitó gran interés debido a los buenos resultados que ofrecía para corregir deformaciones en lienzos de gran formato^[16].



Figura 2.- "Vista de la forración y sistema de muelles". Trasera del lienzo de Caravaggio, procedente de la Catedral de Malta y restaurado en el Istituto Centrale del Restauro de Roma entre 1955 y 1956. (Fotografía adjunta en la *Memoria* de Francisco Garrido Sánchez) © Fundación Juan March.

Garrido termina su escrito dirigiéndose a los miembros del Consejo de la FJM, a los que solicita colaboración para poner en marcha un Instituto de Restauración en Madrid. Su idea era comenzar con la creación de una escuela-taller, en la que a la vez que se formarían nuevos Técnicos y Profesores de Restauración, se restaurarían las obras en peor estado de conservación del patrimonio artístico español. El Istituto del Restauro de Roma sería el modelo a seguir^[17]. Así planteaba lo que poco tiempo después se hizo realidad con la creación del ICCR de Madrid, de la mano de Gratiniano Nieto, Director General de Bellas Artes^[18].

Francisco Garrido, después de este primer viaje a Italia, continuó con su deseo de seguir su formación en la "restauración de cuadros" en los institutos italianos de Florencia, Nápoles y Venecia. Para ello, en 1963, realizó los trámites para ser beneficiario de las ayudas que para estos fines concedía el Gobierno italiano^[19]. Como vemos, después de creado el ICCR de Madrid, Italia continuaría siendo referente en conservación y restauración para los restauradores españoles.

Gonzalo Perales Soriano, forrador de la Junta de Conservación de Obras de Arte, adscrito al Museo Nacional del Prado y restaurador del Museo de Arte Moderno.

El siguiente restaurador becado por la FJM fue Gonzalo Perales Soriano (1920-2008) [Figura 3]. Solicitó la beca para el extranjero en septiembre de 1958, con el objeto de viajar a Italia y estudiar las nuevas técnicas italianas de restauración^[20].

[Gonzalo Perales] considera el INSTITUTO DEL RESTAURO, de Roma, como una de las instituciones más adelantadas en los conocimientos, investigaciones y enseñanzas de los procedimientos de restauración de la pintura y que, por consiguiente, considera beneficioso para el desempeño de su profesión y de los servicios que presta a instituciones del Estado como el Museo del Prado y el de Arte Moderno; permanecer dos meses en la capital de Italia asistiendo a los cursos del referido centro docente^[21].

Perales fue alumno de las clases de restauración de la Escuela de Bellas de San Fernando y en el momento que solicita la beca ocupaba una plaza de forrador de la Junta de Conservación de Obras de Arte del Ministerio (García Cabarcos 2021:250) y era, a su vez, restaurador de pinturas del Museo de Arte Moderno^[22]. En su decisión de viajar a Roma y estudiar en el Istituto del Restauro, contó con el apoyo de Francisco Javier Sánchez Cantón, subdirector del Prado y vocal de la Junta a la que pertenecía, y de Ramón Stolz Viciano, subdirector del Museo de Arte Moderno y catedrático de procedimientos pictóricos en la Escuela de Bellas Artes de San Fernando^[23].

Según dejó anotado en su solicitud, su estancia iría destinada al estudio de las materias:

ignoradas en los gabinetes de restauración españoles, en los que los modernos métodos de conservación y restauración de pinturas son conocidos tan solo por referencias en revistas y publicaciones extranjeras. (...) Con ello, aumentaría el prestigio de nuestros talleres que desconocen en la actualidad las modernas herramientas; los modernos métodos y el empleo de los aparatos eléctricos de rayos, tan valiosos en la investigación de las pinturas^[24].

Su deseo era que los talleres de restauración españoles estuvieran a la altura del prestigio de sus museos y colecciones. Para mayor aprovechamiento de los dos meses que pasaría en Italia, planificó las materias en las que centraría su estudio, incluyendo, además de lo referente a los tratamientos de restauración de las obras, lo referente a la conservación en los museos.

La FJM le concedió la beca y aprovechó al máximo su estancia en Italia. Salió de Madrid el 3 de octubre de 1959, y permaneció en el Istituto Centrale del Restauro desde el 10 de octubre al 10 de diciembre. Los días precedentes a comenzar en el Istituto, y ocho más posteriores a terminar en dicho centro, los empleó en conocer Milán, Venecia, Florencia, Orvieto, Nápoles y Pompeya, donde visitó la Galería Brera en Milán, los Museos florentinos de la Academia, del Setecientos, Ca d'Oro y el Palacio Ducal. En Florencia visitó la Galería de los Uffizi, el Palacio Pitti, la Academia, el Museo de San Marcos y el Museo dell'Opera del Duomo. En Orvieto los Museos de la Catedral y el Museo Arqueológico. En Nápoles los Museos de Capodimonte, de San Martino y el Museo Nacional, y el municipio de Pompeya. Este rápido recorrido

lo consideró necesario, para "familiarizarse con el ambiente y costumbres italianas y, de manera particular, para conocer algunas de las importantes restauraciones realizadas en Italia que se hallan en los referidos Museos"^[25].

Sobre su estancia en el Istituto Centrale del Restauro dejó anotado lo siguiente:

No es exagerada la afirmación de que el Istituto del Restauro posee los más adelantados medios de investigación y de trabajo dentro de las modernas técnicas de la restauración de la pintura. Sus laboratorios y talleres cuentan con todos los adelantos logrados hasta el momento. Por ello mi estancia durante dos meses en el referido Istituto ha tenido una verdadera trascendencia en mi carrera y formación profesional^[26].

Perales sabía que esta estancia en Italia trascendería de manera importante en su carrera profesional. Él mismo comprobó los beneficios de la ciencia aplicada a la Historia del arte y a la restauración de las obras. Una vez comenzado el curso y previo asesoramiento de los profesores del centro, escogió cursar las asignaturas de "Técnica de la restauración", "Física y Química", "Bacteriología", "Fotografía y Rayos especiales", "Técnicas de Traslado" y "Restauración de Frescos"^[27]. En los talleres presencié la restauración de importantes obras italianas y pudo conocer los tratamientos más avanzados que se empleaban para las forraciones, engatillados y restauración de la capa pictórica. Lo único que le quedó por aprender en profundidad, a pesar de su interés, fue la técnica de la forración a la cera. Esto fue debido a que, en el Instituto, "no son expertos "BRAVOS" (buenos) en esta operación, según palabras empleadas por los mismos profesores"^[28].

El tiempo libre y los intervalos entre la asistencia a las clases teóricas y talleres, lo empleó en ir a la Biblioteca del Istituto. También le permitieron asistir a las clases magistrales que los profesores daban fuera del centro, donde explicaban *in situ* los distintos trabajos de restauración realizados. Todas estas visitas contribuyeron a que Perales, conociese los diversos sistemas y tratamientos de arranque y transporte de pinturas al fresco que llevaba a cabo el Istituto de Roma, comprendiendo lo trascendental que era para Italia la existencia de este organismo^[29].

Este Istituto ejemplar ha acertado, a mi entender haciendo sus colaboradores a un equipo escogido de viejos maestros restauradores expertísimos en el oficio, al mismo tiempo que a un grupo de jóvenes llenos de entusiasmo e ideas renovadoras. Con ellos y con haber introducido una selecta plantilla de físicos y químicos, la restauración ha dado un gran paso hacia adelante tanto en lo que se refiere a la técnica como a la teoría que la sustenta. Junto con la búsqueda constante del concepto más justo que aplicar a cada caso son empleados la técnica más perfecta y los más apropiados y duraderos materiales. Día a día se renuevan allí los viejos procedimientos conservando solamente de ellos

aquellos bien probados con la garantía y la experiencia de los años. Mientras nuevos ensayos se van haciendo a la par. De esta inquietud de perfección Italia ha hecho una de sus nuevas glorias que exponer ante el mundo, siendo hoy el Instituto del Restauro con toda razón, uno de los centros más prestigiosos en esta materia y a donde acuden, como he tenido ocasión de observar, estudiosos de todos los países para adquirir los más adelantados conocimientos de restauración^[30].

Tras su regreso a España, Perales transmitió sus impresiones sobre las modernas instalaciones del Istituto a la Dirección del Museo del Prado, y advierte que desde ese momento vieron la necesidad de poner a la institución a la altura de lo que se hacía en Italia. Apunta, además, que, en el Museo de Arte Moderno, gracias a su secretario Joaquín de la Puente^[31], ya se había comenzado la instalación de “un moderno estudio laboratorio y taller”^[32].

Su carrera profesional continuó dentro de los talleres del Museo del Prado hasta 1971, año en que fue nombrado director técnico del ICCR (García Cabarcos 2021: 286), denominado ya en esa fecha Instituto Central de Conservación y Restauración de Obras de Arte (ICCROA).



Figura 3.- Gonzalo Perales (izquierda) junto a Xavier de Salas (subdirector del Museo del Prado) y Manuel de Arpe (jefe técnico de restauración) delante de la *Familia de Carlos IV* de Francisco de Goya en proceso de limpieza, 1967. © Museo Nacional del Prado.

Francisco Núñez de Celis, profesor de restauración en la Escuela Superior de Bellas Artes de San Fernando

El siguiente restaurador becado por la FJM que disfrutó de una estancia en el Istituto Centrale del Restauro de Roma fue Francisco Núñez de Celis (1919-1996). Cursó estudios en la Escuela de Artes y Oficios de Madrid y en la de Bellas Artes de San Fernando. De la mano de su padre, Francisco Núñez Losada (1889-1973), se formó como pintor paisajista y restaurador. En 1950 consiguió por oposición la plaza de profesor de Dibujo Artístico de la Escuela de Artes y Oficios de Sevilla, donde ejerció hasta 1954, y a partir de ese año continuó en la de Madrid y en la de Bellas Artes de San Fernando. En su *curriculum vitae* figuran trabajos de restauración de pinturas propiedad de particulares y organismos oficiales^[33]. En octubre de 1959 solicita la beca

a la FJM para viajar a Italia con la pretensión de conocer las nuevas técnicas de restauración y trasposos de la pintura al fresco a nuevos soportes, y “el empleo de los nuevos aparatos de radioscopia, radiografía, rayos ultravioletas, [y] radiaciones Roenger infrarrojas” en el Istituto Centrale del Restauro de Roma. Además, visitaría el Museo Nacional de Nápoles y las ciudades de Pompeya y Florencia. Para ello pensó que sería necesario contar con dos o tres meses de pensión, siendo la temporada estival la más conveniente para trasladarse^[34].



Figura 4.- Francisco Núñez de Celis (de pie) con alumnos de la clase de restauración de pintura en la Escuela Superior de Bellas Artes de San Fernando, hacia 1954. © Museo Nacional del Prado.

Recién llegado a Roma, el 25 de junio de 1960, contactó con el Istituto y se presentó como el actual profesor de restauración de la Escuela de Bellas Artes de San Fernando de Madrid [Figura 4]. Le acompañaron el director y el secretario de la Academia de Bellas Artes en Roma, Joaquín Valverde y Víctorino Pardo Galindo, y mantuvieron una entrevista con Cesare Brandi, director del Istituto.

Nos presentó a gran parte de los profesores de este centro, puso de manifiesto que las puertas de todas las secciones, talleres y clase[s] del Istituto estaban abiertas para mi, para toda clase de consultas y experiencias. Con este primer paso importantísimo, entré enseguida en comunicación directa con el Secretario y primer restaurador D. Paolo Mora que desde el primer momento se comportó como un amigo, acompañándome a las distintas clases y talleres en que se realizaban en aquellos días trabajos interesantes y proporcionándome todos aquellos datos técnicos que le solicité^[35].

Durante su estancia conoció la metodología instaurada en el Istituto de Roma, las técnicas de restauración más avanzadas y la importancia que se concedía a la documentación y a los estudios técnicos de las obras. Las restauraciones se documentaban de una forma ordenada y sistemática, y todo ello se archivaba para ser consultado después, bien para enseñanza de jóvenes restauradores o bien como registro de consulta para futuras intervenciones. Deja descrita la actividad de los laboratorios y sus aparatos, y describe el funcionamiento y componentes de alguno de ellos.

Las radiografías son tomadas por su pequeño tamaño en forma de cuadrícula, en número mayor o menor según el tamaño del cuadro. Basada en la penetración de la materia, de los rayos X, se obtienen transparencias [sic] (...) que precisan de la especialidad de un técnico especializado concretamente en la radiografía de obras de arte. Este aparato de rayos X tiene un tubo especial construido en Alemania (...) y montado sobre un juego de carriles en semicírculo sobre el que corre pudiendo tomar diferentes posturas, pero manteniendo el enfoque a un mismo punto con objeto de evitar la posible interferencia en la trayectoria de los rayos X de algún elemento como clavos, etc. Los cuadros se colocan sobre una plataforma horizontal bajo la cual se encuentra el carril en semicírculo con el aparato generador de rayos^[36].

Detalla otros aparatos existentes en el mismo laboratorio, máquinas fotográficas y tipos de focos (infrarrojos, ultravioletas, etc.). Los laboratorios de física y química, tenían un papel importante y estaban dotados de todo tipo de materiales y utensilios.

Son el complemento técnico de los restauradores, siendo estos laboratorios los encargados de investigar la composición de los soportes de los cuadros, los elementos que componen las preparaciones, pigmentos y aglutinantes de la capa de pintura, estado y composición de los barnices, etc. que ayudan grandemente al diagnóstico y trazado del plan a seguir en su restauración y posterior de su conservación^[37].

Núñez de Celis también recogió información sobre los nuevos materiales sintéticos que se estaban poniendo en práctica en diferentes tratamientos de restauración. Por ejemplo, para la consolidación de la madera se utilizaba el "Nylon" ("Calathon- AC de la Imperial chemical England") y como adhesivo para fijar los fragmentos de pintura mural a nuevos soportes empleaban resinas acrílicas, concretamente el PRIMAL- AC-33, o AC-55, de la Rohm [and] Haas, Filadelfia (USA)". Destacó de manera particular lo referente a los soportes de madera para las pinturas antiguas. Comprobó cómo se ideaban, con "tremenda e inquieta capacidad creadora", ingeniosos sistemas de engatillados. Como norma general estos debían ser simples y de fácil colocación, con piezas estándar, de materiales resistentes y duraderos. Los nuevos sistemas huían del uso de la madera y reducían en lo posible las partes encoladas a la tabla, prefiriendo múltiples y pequeñas piezas de acero y bronce repartidas por la superficie y colocadas estratégicamente. El sistema de engatillado se realizaba una vez estudiada la obra, es decir, se personalizaba para cada caso particular. En tablas gruesas, como por ejemplo la *Madonna in Maestà* de la Iglesia de Santa Chiara de Asís, del siglo XIII, se utilizó un sistema formado por pequeñas piezas de madera, encoladas y fijas a la tabla, colocadas en cuatro líneas paralelas y destinadas a alojar los ejes y los rodillos de acero -que metidos en las ranuras correspondientes de una pletina del mismo material- hacían posible los movimientos de dilatación de la tabla, fijándola por el contrario para cualquier otro [Figura 5]. En cambio, para tablas de espesor medio, utilizaban un sistema más ligero, como el que

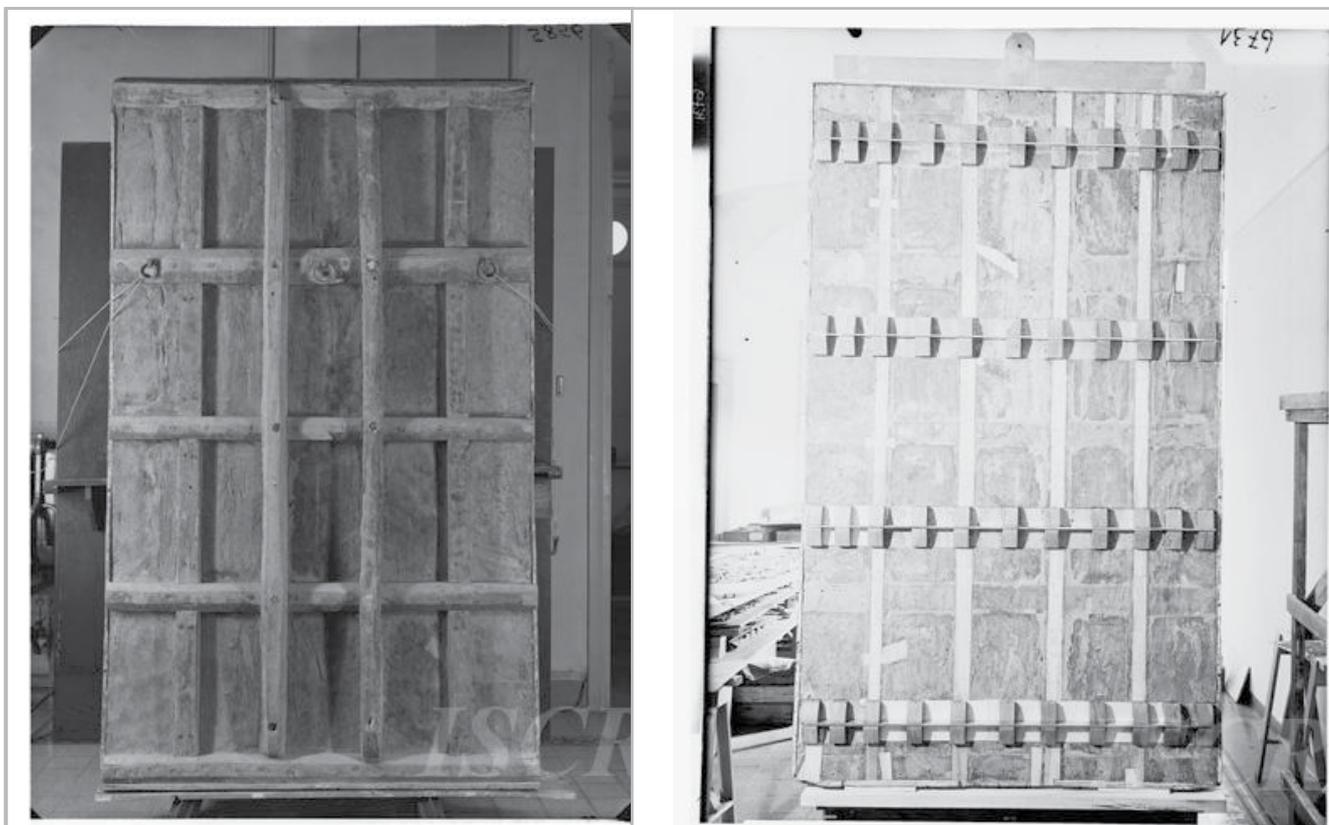


Figura 5. - Reverso de la *Madonna in Maestà* del Maestro de Santa Chiara, de la iglesia de Santa Chiara d'Assisi (Asís). Antes y después de la intervención en los talleres del Istituto Centrale del Restauro de Roma, hacia 1960. © Istituto Centrale per il Restauro.

emplearon para la *Maestá* de Duccio, del Museo dell'Opera de Siena. Y para los engatillados de tablas muy finas o de pequeñas dimensiones reducían aún más la superficie de los elementos fijos y la de los elementos transversales^[38].

A lo que dedicó más tiempo fue al estudio de la pintura mural al fresco. Para ampliar su conocimiento en esta técnica visitó el Museo de las Termas y estudió con detenimiento las pinturas conservadas de las catacumbas de Santa Priscila en la Via Salaria, las de San Calixto y Santa Domitila en la Via Appia y los frescos de Santa Maria la Antiqua en el Foro Romano. Obtuvo los permisos necesarios para entrar en el taller de restauración de los Museos Vaticanos, cosa al parecer no fácil, y conoció a Dalla Torre y Comendatore Carlotti, el director y el secretario, y al restaurador Cav Palombari. Allí comprobó que los procedimientos de restauración seguidos no diferían en lo fundamental de lo que se realizaba en el Istituto, y mantenían el uso de sistemas no tan avanzados, en particular en lo que a las pinturas murales se refiere. Entre las muchas pinturas que vio, destacó la colección de *Ángeles Músicos* de Melozzo da Forli, que, a pesar de haber sido trasladados a nuevos soportes, mantenían las superficies cóncavas originales.

Tras estudiar muchas intervenciones en pintura mural, concluyó que los procedimientos de arranque utilizados eran los tradicionales y que las novedades, con respecto a lo que él conocía, radicaba en el traslado a los nuevos soportes. La pintura una vez arrancada del muro la fijaban con caseinato cálcico a dos o tres capas de tela de lino, y se colocaba en bastidores de madera o metal, con un "sistema de muelles palancas o contrapesos" para mantener la tela en tensión. El adhesivo para pegar los fragmentos de pintura era "una especie de estuco a base de un plástico (Primal-AC.33, o AC. 35) mezclado con arena muy fina". Y para las faltas de pintura dejaban "un tono neutro o bien las reconstruyen pero sin imitar la técnica del original sino con líneas paralelas que mantienen a distancia la unidad del conjunto, mientras que de cerca revelan claramente su lugar"^[39].

El 20 de julio Núñez de Celis se trasladó a Nápoles y Pompeya, donde presenció el arranque de pinturas por técnicos del Istituto y visitó el Museo Nacional de Nápoles. El día 28 regresó a Roma para trasladarse a Siena, Florencia y Pisa. En Siena permaneció hasta el 1 de agosto y visitó los lugares donde se ubicaban las obras de arte más importantes y destacadas con relación a su estudio. A Florencia llegó el 2 de agosto, y con el mismo objetivo contempló un gran número de pinturas murales, analizando en todas ellas su estado de conservación y tratamientos de restauración. El 10 y 11 de agosto hizo lo mismo en Pisa. Una vez de regreso a Roma, y antes de volver a España, aún visitó Tarquinia y varios lugares donde se conservan tumbas etruscas^[40].

Tras dos meses en Italia, y de nuevo en Madrid, "con un gran cansancio del esfuerzo hecho, pero contento por el resultado obtenido"^[41] continuó en la Escuela de Bellas

Artes de San Fernando y su carrera sobresalió al ser nombrado Director del departamento de Restauración y Conservación en la Facultad de Bellas Artes de Madrid^[42]. También tuvo un papel relevante como impulsor y asesor, tanto del ICCR de Madrid como de la Escuela de Restauración (que acuñó el nombre de Escuela de Procedimientos y Arte de la Restauración y Museología)^[43].

Conclusiones

En primer lugar, queremos resaltar y celebrar el importante papel que jugó la Fundación Juan March cumpliendo uno de sus principales fines, a través de un ambicioso programa de becas, para que jóvenes investigadores y profesores ya establecidos pudieran acceder a las tendencias artísticas, científicas y literarias desarrolladas en otros países.

En el campo de la restauración, gracias a estas pensiones que facilitaban la formación en el extranjero y al interés demostrado por profesionales como Francisco Garrido Sánchez, Gonzalo Perales Soriano y Francisco Núñez de Celis, se trajo de Italia un valioso conocimiento teórico y práctico sobre la moderna metodología de conservación-restauración implantada en Europa. Una vez estudiadas sus Memorias, que han quedado presentadas en este artículo, es indudable que los tres formaron parte de la corriente que impulsó a los poderes públicos españoles a crear un centro especializado, capacitado y autorizado para hacerse cargo de la conservación y restauración del patrimonio artístico del país "con las garantías científicas y técnicas necesarias". A partir de su fundación en 1961, el ICCR cogió las riendas para que la conservación y restauración en España se acometiera bajo la metodología científica europea -una vez instalados los talleres y laboratorios gracias a la ayuda de la Unesco y las directrices de Paul Coremans-

Por otro lado, hemos visto cómo la disposición de los restauradores españoles becados era un reflejo de la inquietud, para no descolgarse de los avances en Europa, que tenían los principales talleres de restauración españoles desde los que procedían. Se les proporcionó apoyo para facilitar que estos viajes pudiesen llevarse a cabo y es muy probable que, una vez de vuelta a sus centros de trabajo, pusieran en práctica las técnicas italianas aprendidas, empleando materiales y procedimientos vistos en Italia para la restauración de pinturas. El tratar de corroborar de qué modo esas nuevas técnicas se fueron incorporando en los talleres del Museo del Prado, de Patrimonio Nacional y los integrados entonces en las enseñanzas artísticas de la Academia de Bellas Artes de San Fernando, durante el periodo de tiempo previo a la creación del ICCR, consideramos que es una muy interesante línea de investigación a abordar de cara a la historia de estos talleres, y para completar la historia material de las obras pictóricas que integran esas importantes colecciones, lo que incorporaría a su vez nuevos capítulos a la historia de la conservación y restauración del patrimonio artístico de nuestro país.

Notas

[1] Es posible que este vacío historiográfico sea debido a que el perfil profesional del restaurador de obras de arte no se definió en las Academias de Bellas Artes hasta 1940, una vez creadas las cátedras en restauración de cuadros y esculturas. Actualmente tenemos pocos datos, y todos relativos a estancias de restauradores españoles en Italia a partir de la década de 1950. Pero estamos convencidos de que nuestros antecesores restauradores viajaron a Italia, Francia o Alemania a formarse en talleres de restauración consolidados y de prestigio para conocer otras técnicas desconocidas en España o perfeccionar tratamientos menos utilizados en nuestro país.

[2] El ICCR tuvo su primera sede en el Casón del Buen Retiro, creado en 1961 por la Dirección General de Bellas Artes (Decreto 2915/1961 de 16 de noviembre por el que se crea el Instituto Central de Restauración y Conservación de Obras y Objetos de Arte, Arqueología y Etnología, (BOE de 7 de diciembre de 1961, nº 292, pp. 17273-75), entonces dependiente del Ministerio de Educación Nacional, tomando como referentes principales dos instituciones pioneras en Europa en esta materia, el Istituto Centrale per il Restauro de Roma, y el Institut Royal du Patrimoine Artistique de Bruselas. Posteriormente se invertirá el orden de los términos de "Restauración" y "Conservación" en su denominación, de ahí las siglas ICCR con las que figura en los documentos durante sus primeros años, más tarde ICCROA (observación anotada en Bruquetas 2021: 48).

[3] Fue creado en 1938 por Cesare Brandi y Giulio Carlo Argan, y pronto se convirtió en la institución italiana de referencia en materia de conservación y restauración de obras de arte.

[4] Acerca de la fundación véase <https://www.march.es/informacion/?l=1>

[5] El origen de la concepción moderna de la conservación y restauración en España la situamos en la década de los años sesenta, y de acuerdo con otros autores (Ruiz de Lacanal, Vicente Rabanaque y Macarrón Miguel), debido fundamentalmente a los cambios en la formación de los restauradores y a la incorporación de la ciencia en el estudio de las obras de arte. Esta nueva manera de entender la intervención del patrimonio artístico conllevó un cambio en la metodología y se fue actualizando la terminología relacionada con esta disciplina, actualmente entendida como "conservación-restauración de bienes culturales". Para la historia de la conservación y la restauración y sobre el desarrollo del perfil profesional del conservador-restaurador véase Vicente Rabanaque 2013, Ruiz de Lacanal 2018 y Macarrón Miguel 2021.

[6] Servicio de conservación y restauración de obras de arte creado por el Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes en 1920. Sobre este tema véase Vicente Rabanaque 2013: 48, García Cabarcos 2017: 406-8 y García Cabarcos 2021: 172-174.

[7] Anteriores a Garrido, Isabel Pernas Bujados, Irene Gracia Ara y Aureliano Moret García-Mauriño (la formación de restauradores durante el siglo XX en España es parte de una investigación más amplia en preparación) y el restaurador valenciano Luis Roig

d'Alós (1904-1968) viajaron desde España a Italia para realizar prácticas en el Istituto Centrale del Restauro de Roma, gracias a las pensiones que el Estado italiano concedía y que los interesados solicitaron a través del Ministerio de Asuntos Exteriores. Sobre Luis Roig d'Alós véase Bosch Roig 2012: 261.

[8] Madrid, Archivo Fundación Juan March (en adelante AFJM), Expediente administrativo de Francisco Garrido Sánchez. Beca concedida por la FJM, Sección Artes Plásticas, 1958, Copia digitalizada por Archivo FJM. La solicitud fue presentada el 30 de diciembre de 1957.

[9] *Ibidem*.

[10] *Ibidem*.

[11] Los becados entregaron a la FJM una Memoria escrita en la que reflejan los conocimientos adquiridos o trabajos realizados durante el tiempo que fueron becados.

[12] Madrid, AFJM, Expediente administrativo de Francisco Garrido Sánchez, *op. cit. Memoria*, pp. 1-3.

[13] *Ibidem*, pp. 6-9.

[14] Madrid, Archivo Museo del Prado, caja 428, leg. 23.06 (7 de junio de 1957).

[15] *Ibidem*, (23 de mayo de 1958 y 28 de enero de 1959).

[16] La obra permaneció en el Istituto Centrale del Restauro en Roma desde el 6 de agosto de 1955 al 20 de noviembre de 1956. Véase Caritá 1957.

[17] Madrid, AFJM, Expediente administrativo de Francisco Garrido Sánchez, *op. cit., Memoria*, p. 9.

[18] Para la creación del ICCR véase Díaz Martos 1964 y 1968, Ruiz de Lacanal 1994: 222-25, Ruiz de Lacanal 1995: 38-45, Viñas Torner 2001: 162-168, Vicente Rabanaque 2013: 130-1, García Cabarcos 2021: 277-285 y Bruquetas 2021: 47-73.

[19] Madrid, Archivo General de la Administración de Alcalá de Henares, 82/19155 (26 de abril de 1963). No nos consta que se le concediera esta ayuda.

[20] Madrid, AFJM, Expediente administrativo de Gonzalo Perales Soriano. Beca concedida por la FJM, Sección Artes Plásticas, 1959, Copia digitalizada por Archivo FJM.

[21] *Ibidem*.

[22] En el año 1956 fue "nombrado restaurador primero de la pintura del Museo Nacional de Arte Moderno (siglo XIX)", véase AFJM, Expediente administrativo de Gonzalo Perales Soriano, *op. cit.*

[23] Se conserva una carta de recomendación de F.J. Sánchez Cantón para su llegada al Istituto (Archivo familiar) y Perales le

mantuvo informado durante su estancia en Italia, véase García Cabarcos 2021: 267. En la solicitud a la beca aclaró que "su tarea [durante su estancia en Italia] sería examinada y dirigida por el Excmo. Sr. Dn. Stolz Viciano (...)", véase Madrid, AFJM, Expediente administrativo de Gonzalo Perales Soriano, *op. cit.*

[24] Madrid, AFJM, Expediente administrativo de Gonzalo Perales Soriano, *op. cit.* La solicitud fue entregada el 4 de septiembre de 1958.

[25] *Ibidem*, Memoria, p. 1.

[26] *Ibidem*.

[27] *Ibidem*, p. 4.

[28] *Ibidem*.

[29] *Ibidem*, pp.5-6.

[30] *Ibidem*, pp.8-9.

[31] En 1958 la FJM le otorgó una pensión para realizar un viaje de formación al extranjero.

[32] Madrid, AFJM, Expediente administrativo de Gonzalo Perales Soriano, *op. cit. Memoria*, p. 9.

[33] Madrid, AFJM, Expediente administrativo de Francisco Núñez de Celis. Beca concedida por la FJM, Sección Artes Plásticas, 1959. Copia digitalizada por Archivo FJM. La solicitud fue presentada el 31 de octubre de 1959.

[34] *Ibidem*.

[35] *Ibidem. Memoria* (entregada el 26 de octubre de 1960), p. 1.

[36] *Ibidem*, pp. 2-3.

[37] *Ibidem*, p. 4.

[38] *Ibidem*, p-5-6.

[39] *Ibidem*, p.11.

[40] *Ibidem*, pp. 12-17.

[41] *Ibidem*, p.17.

[42] Los estudios de la Escuela de Bellas Artes de la Academia de San Fernando se trasladan a la Ciudad Universitaria en 1967. En 1978 se inaugura el proceso de transformación para convertirlos en universitarios, produciéndose en 1979 la plena integración de los mismos en la oferta universitaria complutense. Agradezco a Javier Pérez Iglesias esta información.

[43] Sobre la Escuela de Restauración del ICCR véase art.º tercero del Decreto 2915/1961 de 16 de noviembre por el que se crea el Instituto Central de Restauración y Conservación de Obras y

Objetos de Arte, Arqueología y Etnología, (BOE de 7 de diciembre de 1961, n.º 292, pp. 17273-75), Díaz Martos 1968: 29, Ruiz de Lacanal 1994: 225-27, Cabrera Garrido 2021: 103-10, Morán Cabré 2021: 111-26, Melchor Rodríguez 2021: 163-66. Sobre Francisco Núñez de Celis <https://www.museodelprado.es/aprende/enciclopedia/voz/nuez-de-celis-francisco/b9698e26-2759-4591-99b4-fce010ca4321>. y Vicente Rabanaque 2013: 151-2.

Agradecimientos

Agradezco a Paz Fernández, Luis Martínez Uribe y, en especial, a Almudena Knecht, la atención recibida en mis visitas a la biblioteca de la Fundación Juan March, y la cesión de imágenes. A los archivos fotográficos del Museo Nacional del Prado y del Istituto Centrale per il Restauro.

Referencias

ARPE Y RETAMINO, M. (1984). *Manual de restauración*. Madrid, archivo particular, manuscrito inédito, (citado por la copia conservada en la biblioteca del Taller de Restauración del Museo del Prado, sign. Fot. /24/ Biblioteca TR).

BOSCH ROIG, L. (2012). *Archivo histórico de conservadores y restauradores españoles: la actuación del restaurador Luis Roig d'Alós (1904-1968)*. Universitat Politècnica de València, Tesis doctoral.

BRUQUETAS GALÁN, R. (2021). "Paul Coremans y el Instituto Central de Conservación y Restauración. Informe de la Unesco 1963", *Revista Pátina* (especial cincuentenario), 22: 47-73.

CABRERA GARRIDO, J. M.^a (2021). "La creación del ICCROA y su escuela, un gran reto para la conservación del Patrimonio español", *Revista Pátina* (especial cincuentenario) 22: 103-10.

CARITÁ, R. (1957). "Il restauro dei dipinti caravaggeschi della cattedrale di Malta", *Bollettino dell' Istituto Centrale del Restauro*, 29-30: 41-82.

DÍAZ MARTOS, A. (1964). "Presentación", *Instituto Central de restauración y conservación de obras y objetos de arte, arqueología y etnología. Conservación y Restauración del Patrimonio Artístico de España, 2 vols.; I: Exposición, Casón del Buen Retiro, II: Trabajos realizados, 1963-1964*. Madrid: Ministerio de Educación Nacional, Dirección General de Bellas Artes.

DÍAZ MARTOS, A (1968). *Restauración de obras de arte*. Madrid: Publicaciones españolas (Temas españoles n.º 487).

GARCÍA CABARCOS, M.^a C. (2017). "Las copias de pinturas murales de Elías de Segura como restaurador-conservador de obras de arte del Ministerio (1920-1927)", *Boletín del Museo Arqueológico Nacional*, 36: 405-18.

GARCÍA CABARCOS, M.^a C. (2021). *La historia de la restauración en el Museo Nacional del Prado*. Madrid: Museo Nacional del Prado.

LAFUENTE FERRARI, E. (1960). "Prefacio". En *Restauración y conservación de pinturas*, Stout, G. L., Madrid: Tecnos, 7-16.

MACARRÓN MIGUEL, A. M.^a. (2018). *Historia de la conservación y la restauración. Desde la Antigüedad hasta el siglo XX*. (4^a ed.) Madrid: Tecnos.

MELCHOR RODRÍGUEZ, L. (2021) "Dos palabras sobre la creación de la Escuela de Restauración y algunos recuerdos de sus primeros tiempos", *Revista Pátina* (especial cincuentenario) 22: 163-66.

MORÁN CABRÉ, J.A. (2021). "La etapa inicial de la Escuela de Restauración", *Revista Pátina* (especial cincuentenario), 22: 111-26.

NÚÑEZ J. PEÑASCO, E. (1960). "Prólogo para la edición española". En *Restauración y conservación de pinturas*, Stout, G. L., Madrid: Tecnos, 17-20.

RUIZ DE LACANAL, M.^a D. (1995). "El Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales y la formación del Conservador-Restaurador", *Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 10: 38-45.

RUIZ DE LACANAL, M.^a D. (1999). *El conservador-restaurador de bienes culturales: historia de la profesión*. Sevilla: Síntesis.

RUIZ DE LACANAL, M.^a D. (2018). *Conservadores y Restauradores. La historia de la conservación y restauración de bienes culturales*. Editorial Universidad de Sevilla.

SÁNCHEZ RON, J.M. (2005). *Cincuenta años de cultura e investigación en España. La Fundación Juan March (1955-2005)*. Barcelona: Crítica.

VICENTE RABANAQUE, T. (2013). *Del restaurador de obras de arte al conservador-restaurador de bienes culturales. La consolidación disciplinar y profesional de la restauración en España (siglos XX-XXI)*. Valencia: Diversia.

VIÑAS TORNER, V. (2001). "El Instituto del Patrimonio Histórico Español", *Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 37: 162-68.

Ha trabajado de restauradora en diferentes provincias españolas y desde 2012 a 2019 formó parte del departamento de restauración del Museo Nacional del Prado, trabajando en tareas relacionadas con la sistematización de la documentación generada por los diferentes talleres, y en la organización e investigación del archivo histórico de restauración. Ha impartido seminarios en la Escuela del Prado (2017): "Los trasposos de tabla a lienzo en la historia y documentación de los talleres de restauración del Real Museo y Museo Nacional", y en la Cátedra 2017: "El Taller de restauración de pintura del Museo del Prado (1819-1920): historia y documentación". Es autora de varios artículos sobre historia de la restauración en España (s. XIX y XX) y del libro *Historia de la restauración en el Museo del Prado* (2021), de reciente publicación. Actualmente, se encuentra finalizando el doctorado en Historia del Arte en la Universidad Complutense de Madrid.

Artículo enviado el 16/09/2021
Artículo aceptado el 11/02/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1050>

Autor/es



Maria Concepción Garcia Cabarcos
cabarcos3@hotmail.com
Doctoranda UCM y Restauradora autónoma
<https://orcid.org/0000-0001-9108-6564>

Licenciada en Historia del Arte (UCM) y restauradora titulada con la especialidad de pintura (ESCRBCM). Master en Gestión de Patrimonio Histórico y Cultural (UCM) y Master en Estudios Avanzados en Museos y Patrimonio Histórico y Artístico (UCM).

A theoretical reflection on the documentation of contemporary art: a proposal for a chronological protocol

Rosario Llamas-Pacheco

Abstract: Contemporary artwork is a complex entity made up of several superimposed planes: the material plane, the conceptual plane and the biographical plane. The need to apprehend the entity, determining where its substantial attributes lie, those that determine its consistency and constitute both, its essence and its specificity, is the objective of the documentation.

This article proposes a documentation protocol that collects, from an empirical and useful perspective, the order in which the different actions of the contemporary art conservator should be documented. This protocol must analyse the different planes of which the artworks consist; it must apply an updated decision-making model and prioritise the relative importance of the material and immaterial constituents of the artworks. It must also include the documentation of the intervention process itself. The order and the tools to achieve it are analyzed in this article.

Keywords: conservation theory, contemporary art, documentation, protocol

Una reflexión teórica sobre la documentación del arte contemporáneo: una propuesta para un protocolo cronológico

Resumen: La obra de arte contemporánea es una entidad compleja formada por varios planos superpuestos: el plano material, el plano conceptual y el plano biográfico. La necesidad de aprender la entidad, determinando dónde se encuentran sus atributos sustanciales, que determinan su consistencia y constituyen tanto su esencia como su especificidad, es el objetivo de la documentación.

Este artículo propone un protocolo de documentación que recoge, desde una perspectiva empírica y útil, el orden en el que se deben documentar las diferentes acciones del conservador de arte contemporáneo. Este protocolo debe analizar los diferentes planos que componen las obras de arte; debe aplicar un modelo de toma de decisiones actualizado y priorizar la importancia relativa de los componentes materiales e inmateriales de las obras de arte. También debe incluir la documentación del propio proceso de intervención. El orden y las herramientas para lograrlo son analizados en este artículo.

Palabras clave: teoría, arte contemporáneo, documentación, protocolo

Una reflexão teórica sobre a documentação da arte contemporânea: uma proposta para um protocolo cronológico

Resumo: A obra de arte contemporânea é uma entidade complexa formada por vários planos sobrepostos: o plano material, o plano conceptual e o plano biográfico. A necessidade de apreender a entidade, determinando onde se encontram os seus atributos substanciais, aqueles que determinam a sua consistência e constituem tanto a sua essência como a sua especificidade, é o objectivo da documentação.

Este artigo propõe um protocolo de documentação que retoma, de uma perspectiva empírica e útil, a ordem em que se devem documentar as diferentes ações do conservador de arte contemporânea. Este protocolo deve analisar os diferentes planos que compõem as obras de arte; deve aplicar um modelo de tomada de decisões atualizado e priorizar a importância relativa dos componentes materiais e imateriais das obras de arte. Deve igualmente incluir a documentação do próprio processo de intervenção. A ordem e as ferramentas para consegui-lo são analisadas neste artigo.

Palavras-chave: teoria, arte contemporânea, documentação, protocolo

Introduction

The constant experimentation and research of contemporary artists has resulted in the emergence of complex works in relation to their ontological nature. These new artistic typologies have placed the conservator-restorer before the problem of the passage of time and its effect on matter, but also, before the problem of its effect on the consistency of the artworks.

If the consistency of the work is the sum of its essential and accidental properties, that is to say, its essence, in a phenomenological sense (Ferrater Morab 1975), the documentation of it, with the intention of transmitting it to the future, must take into account the knowledge of these properties and their hierarchization.

In the field of conservation and restoration of contemporary art it is common to find the need to replace artistic elements due to technological obsolescence, loss, degradation or reinstallation. In other words, it is common to be faced with the possibility of change (Van Saaze 2013).

In addition, we find the intermittent materialization of the artworks, as in the case of the installations; or even, the irremediable death of the artwork before the impossibility of bringing the entity to the experimentation, as a consequence of the loss of its essential constituents (Llamas 2020: 6-7).

The fact that for contemporary art, matter is the bearer of meanings implies that the transformation of it, voluntary or involuntary, can affect essential issues.

In relation to the possibility of reaching absolute Truth and knowledge of the entity, there are opposing positions. In any case, the conservator must transmit the artwork to the future, and must do so after having apprehended it, trying to eliminate as much as possible any hint of subjectivity, again, if this is possible; in any case, the bequeath process of documentation contributes to this.

Existence is the ontological category that gives rise to the perceptions we obtain from the entity. On the other hand, the experiences that we obtain from these perceptions, analyzed rationally, constitute the knowledge of it. Documentation serves to describe these perceptions and experiences as precisely as possible, so that the future experimentations of the entity are as faithful as possible to the Truth.

In the case of contemporary art, the passage of time becomes a fundamental risk factor. And this is not only due to the effect of the usual agents of degradation, but also due to the possibility of forgetting and the consequent transformation of the consistency of the artwork.

On the other hand, the accidental properties (Locke 2002), those that refer to minor attributes, must also be known,

since in view of the possible discrepancies that could exist in the decision-making processes, they could be sacrificed. The passage of time influences the loss of information, also in the decontextualization of the artworks, and as result, in difficulties in reinstalling them. Documenting to bequeath consists in gathering in an individualized way which are the qualities that define the entity. For that, is necessary collecting what are its substantial attributes, identifying the artwork, but at the same time, classifying it according to its ontological nature.

The nature and status that the various types of documentation generated in these processes will acquire are varied. Studying the condition that the documentation obtained acquires, is part of the necessary theorization. Sometimes the documentation of the artistic act itself may become the work of art and be exhibited in museums; in other cases, the documentation may simply be the graphic testimony of what the work was; or even, in some cases, the documentation may be forbidden by the artist (Van Saaze 2014).

According to our experience, in order to document, it is necessary to establish a sequential methodological process, a process that can be implemented by the conservator-restorer with the intention of transmitting the consistency of the artwork, that is, with the intention of preserving what makes the entity what it is.

This process consists of several successive moments that will help the interpretation of the work of art and the apprehension of the various values that substantiate it.

From an empirical point of view, the documentation must include the intervention processes themselves once these have been carried out, it must include the decision-making processes and it must specify the specific actions to be carried out in relation to preventive conservation.

One of the objectives of this study is to propose the monitoring of a sequential protocol of action for the documentation of contemporary artworks, a protocol based on the practical experience and knowledge of conservator-restorers. This conceptual and methodological tool can be used to collect all the information that helps to understand the entity, that is: the study of the material plane; the study of the conceptual plane; the study of the biographical plane; the study of the condition of the artwork; the study of the possible discrepancies that could arise between the condition of the current matter and its ideal pristine state, in relation to the significance; the in-depth study of the factors that intervene in the decision making for the determination of the intervention process (application of a decision making model); the documentation of the intervention process itself, or of the proposal of a strategy for configuration (according to the application of the decision-making model updated in 2019); and finally, the approach of the individualized preventive conservation actions, as well as the verification

of the effectiveness of the proposals. The order indicated is essential for the adequate construction of the knowledge of the artwork.

This protocol of action can be applied to any type of artwork, whatever its ontological nature, because when each artwork is analysed in this way, we believe that a good understanding of it can be achieved. The perspective from which the actions for the documentation in the proposed protocol follow each other, is that of the conservator-restorer, since the conservator must apply an intervention treatment and have documented his action once it has been finished.

In the area of documentation of contemporary art technical sheets, at first, were based on the study of traditional artworks. Little by little, initiatives have appeared that have attempted to gather together the needs of contemporary art, including the participation of the artist in the process of documentation or the adaptation to the art of the new media: (DOCAM; VARIABLE MEDIA NETWORK; 40YEARSVIDEOART. DE-PART 1; INSIDE INSTALLATIONS; ICOM-CIDOC, INCCA, or MATTERS IN MEDIA ART), among others.

This concern for transmitting the authentic work, without loss of information, nor changes or alterations due to lack of understanding, led to the development of projects for the design of new documentation models (Heydenreich 2011: 155-171).

Generally, these more current models require the joint and collaborative work of various types of conservation and restoration professionals, such as engineering and information technology, art history, chemistry, etc. As Wharton (2015: 180-191) notes, "the resulting archives contain information on production methods, materials, past events, artists' concerns..."

However, we believe that we can make a contribution to the need to have the conceptual aspects of the artworks well collected, on which subsequent actions should be based. Studies aimed at studying the problems of documenting contemporary art in greater depth must focus on establishing an appropriate methodology of action that will lead to decisions being taken and that will be useful empirically for the conservator himself.

Thus, our study, from a methodological point of view, reviews some important theoretical concepts, such as consistency, existence, ontological status or essence. The research makes a comparison between the two decision-making models developed at INCCA and NACCA and examines how the neutral description of the artwork is possible and can, if done at an early stage, help the conservator-restorer in the process of interpretation. After studying the role of social representations in obtaining information, it analyses the different planes that constitute the work of art and the different paradigms in which it can be placed, determining that it is essential to situate the

work in one of them in order to reach an understanding of it. Finally, it proposes a documentation protocol that chronologically helps the conservator-restorer to construct knowledge and record his actions.

Comparison of two decision-making models (1999-2019). The need to describe case by case

The decision-making model designed by the Foundation for the Conservation of Modern Art in 1999 and by the Netherlands Institute for Cultural Heritage was an important step in documenting contemporary artworks. One of the important aspects that it established was the need to study each work to be intervened on a case-by-case basis. In the application of this model, the figure of the artist plays a fundamental role.

Recently, in the context of the NACCA project (New Approches in the Conservation of Contemporary Art, 2016-2019) there has been a review and update of that decision-making model.

One of the new features of this review is the inclusion of a preliminary step in which the study of the current situation of the artwork is addressed. This is followed by an analysis of possible conflicts that may have been established between the current condition of the matter and its pristine ideal condition (Heydenreich, Fischer, Giebeler, & Sartorius 2019). This review focuses on the evolving nature of the artworks and considers, in addition to the options for intervention, the options for presentation of the artworks.

We would like to point out that throughout our study the concept of pristine, which will be used on several occasions, will be related to one of the four possible authentic states mentioned by Muñoz Viñas (2003: 84-86): the state that the object had when it was produced, according to Riegl's theory (1858-1905), or the closed originary state pointed out by González Varas (2008:40).

More than analyzing the significance of matter, which was a section of the previous model, we would analyze what would be its desired optimal condition, in relation to the Truth of the entity. In the case of discrepancies between both, intervention options or presentation strategies would be considered, we could point out, taking into account the paradigm where the artwork is located.

Finally, according to the new model, it is necessary to check the effectiveness of our actions. This last step has been very rightly included with respect to the previous decision-making model.

This revision has meant an advance, again, very adequate to reality, which takes into account the evolution of the theory during these years. However, the paradigm of the death of the artwork must be taken into account, which entails the acceptance of its disappearance due to the

impossibility of bringing the Truth of the entity to the world of sensible.

Another aspect that could influence the decision-making process, and which must be taken into account, since the biographical level is part of the artwork, is the role of the public in relation to preservation. This aspect that has been little studied.

Thus, the steps to follow that have been established in the current decision-making model (2019) would be: study of the current situation of the artwork, data recording, study of the condition of the matter, study of the ideal pristine condition, analysis of discrepancies between these last two, proposal of action options or conservation strategies, evaluation of the proposals, specification of the action to be carried out (intervention process or long-term strategy) and review of the action taken.

Assessing discrepant factors in decision making is a complex process. Balancing the weight that each of these variables must have is, in the end, what will determine the intervention to be carried out. The list of discrepant factors involved in determining the intervention is constantly expanding. In addition to the traditional ones, such as the authenticity of the artwork (nuanced at present), functionality, the artist's opinion, historicity, aesthetic factors, etc... we have contributed that of pressure from the art market (Llamas 2014), (artists are influenced by this agent when participating in decision-making processes), and we would also like to point out the importance of analysing the role that the public (community) may have in this process. It is possible to find works of urban art that, although they were born with the intention of being abandoned, have ended up being worthy of conservation given the affectivities (values) that the community has deposited in them.

With regard to the artist's opinion, which has been placed in the current decision-making model, as in the previous one, in the section on consideration or assessment of discrepant factors, it is interesting to note that the artist is not aware of the possibilities of the discipline of conservation, and that his contribution is already taken into account in the legislative factor, since it is known that we conservator-restorers have to respect the moral rights of creators. For this reason, it seems to us more appropriate to include the study of the artist's opinion with respect to conservation, on a biographical level.

The neutral description of the artwork as a first step in the documentation.

We think that interpretation of the artwork is necessary to be able to bequeath it correctly to the future. But is the interpretation of the entity an automatic process that takes place in the course of a conservation intervention? What importance does the figure of the artist have in this process of interpretation and to what extent should he influence the decision-making processes? The description of the

artwork is part of its documentation, but can the neutral description of the work be produced without the need for prior interpretation?

Irvin Sherri (2006: 143-156) analyses the problem of the interpretation and configuration of the artwork in relation to its documentation. Although his point of view is directed towards the need to understand the entity, his contributions and criticism of what Danto maintains in relation to documentation are very interesting.

According to Sherri (2005: 135-148), Danto (1989: 195-196) states that it is not legitimate to seek a neutral or pre-interpretative description of the artwork, since such a description does not respect the work as a work of art. For Danto, previous interpretation is necessary for the constitution of the work of art, and it is not possible to describe it in a neutral way, since in that case, we would appreciate it as a thing and not as an artwork. On the other hand, and on the contrary, Sherri defends that it is possible to see and describe an artwork before interpreting it. That would also be our opinion.

This is an interesting topic, and we can contribute to analysing it from the point of view of the conservator-restorers. When an artwork arrives at an institution and a conservation strategy must be considered, or when it arrives at the laboratory to be intervened, the conservator must put into operation all the information available to reach the comprehension of the entity. He will not be able to determine intervention treatments, or conservation strategies if he has not come to understand where the essential lies in it, what makes the artwork what it is, the what of the thing, its quiddity.

However, we argue that the description of the artwork, as a material object, can help interpretation, and interpretation is necessary to make appropriate decisions [Figure 1]. The interpretation is linked to the apprehension of the artwork, it is not produced in an intuitive and direct way in front of the contemplation, it needs tools that help the conservator and also the public, obviously, to the construction of the meaning.

Danto already points out that one of the functions of interpretation is to attribute a certain importance to certain elements, so as to justify their very inclusion in a description. According to him, this would be one of the essential aspects in the description of the artwork and, he maintains that it is not possible to recognise these characteristics without interpretation.

For our part, as we have explained above, we think that the hierarchization of essential and anecdotal constituents of the artworks must be done after the interpretation, otherwise, the importance of each of them, both the material and the immaterial, in relation to the whole cannot be understood. Indeed, like Danto, we also believe that before interpretation, it is not possible to establish the relative importance of each of them.



Figure 1.- Cildo Meireles, *Insertions into Ideological Circuits: Coca-Cola Project*, 1970. Tate Modern. Photograph by the author. The passage of time affects the appearance of the work. The glass in the bottles is less and less transparent. Interpretation is needed to determine the extent to which the work is affected by this fact.

But to describe is not to establish a hierarchy, and therefore, the description of the constituent elements of the artwork could be the first task of the conservator when faced with the need to document. Describing is simpler than understanding, and it is simpler than establishing relative importance of something, which is why it seems logical to begin the study of the artwork in this way.

Starting with a neutral description of the integral elements of the artwork is a manner of beginning to comprehend, and provides the conservator with a prior partial understanding, which will be useful at the time of the interview, which, on the other hand, should be done as soon as possible. The interpretation, in our view, will occur in parallel to the documentation process.

In relation to the concept of identity, there are several dimensions from which it is being analyzed (Martore 2009). If the essence is related to typologies, to quiddity (Ferrater Mora, 1975b) (a term adopted in medieval scholastic philosophy, but very useful in our field), and constitutes the set of properties shared by the members of a class, haecceity could be related to individual identity, that is, to what makes one individual different from another (Caponi 2018:1-15; Vos 2006, 412)). And within the field of theory for the conservation of contemporary art, this fact refers to

what, within an artistic category, for example, ephemeral art, would make one artwork distinguishable from another.

Moving away from the social perspective, for Sherri, identity would be linked to the conceptual plane of the artwork, and not to the biographical plane, a point that we also share, since, for example, three materially identical artworks can receive three different interpretations if the title next to them is different in each case. Following an example given by Danto.

In this sense, Stigter (2017) provides an updated vision of the nature of contemporary art, insisting on the need to understand it, in many cases, as a process, and not as art materialized in an object. This author brings together three new approaches aimed at studying the behaviour of the artwork, the autoethnographic approach, already pointed out by Wharton (2013: 19-173), the biographical approach, mentioned above, and the approach aimed at studying new media art.

It is also interesting to note his contribution in revaluing the figure of the conservator as an active agent, highlighting the auto-ethnographic approach coming from the social sciences, in valuing the participation of the conservator in the processes of reinstallation and documentation of the artworks. Thus, the qualitative reflection carried out by the conservator in the process of reinstallation should be taken into account (Stigter 2016: 227-232).

Different planes in the work of art: the conceptual, the material and the biographical.

The conceptual plane of the works would be, as Althöfer (2003) already established, ahead of the material plane, since even in the case of artworks in which matter is the bearer of the essential, this fact has had to be determined previously by the artist.

At the same time, there is the possibility that the degradation of matter has been known and assumed from the pristine moment of the work (video art, kinetic art, technological works in general). In these cases, the functional objects, which serve the experimentation, but do not constitute the substantial, must be understood as accidental components, with the possibility of replacement or substitution without loss or damage to authenticity.

On the other hand, matter can degrade, this process constituting the substantial of the artwork. In this situation, we would find in the paradigm of the processual pointed out by Van de Vall (2017), and obviously, change and mutation would be the essential thing in the entity, which would help to place it within a category.

Artistic installations could be analyzed from the perspective of the paradigm of the performative pointed out by Van de Vall, as well as happenings and performances (live art). In

this paradigm, in relation to matter, the most likely thing is the possibility of change or substitution.

For its part, urban art has introduced great complexity into the world of contemporary art conservation. Understanding the ephemeral nature of the artworks in most cases, which is the essential feature of the entity, it may happen that for several reasons (art market, social pressure, excessive musealization...) the artwork ends up being conserved. This places the conservator before the disjunctive of respecting the quiddity of the artwork, defending its natural ephemeral character, or proceeding to its conservation. At present, urban art museums are appearing, although fortunately, in most cases the artworks remain in the place for which they were created, fulfilling their natural life cycle.

About paradigm of the death of the entity, in this group of rules, the conservator, freed from the need to preserve the work of art in a single authentic state, a state that is close to the pristine one, must focus his efforts on determining the ontological status of the matter that served the entity's experimentation, since we must have assumed that it is not capable of fulfilling its function. In this paradigm, documentation will include terms such as relic, ruin, replica, copy, reissue or rematerialization, and in each case, it will be necessary to determine whether a new manifestation of the entity would be endowed with "artisticity".

As we have pointed out, the description of the artwork, as a complex entity, must take into account the three planes of which it is composed: the material plane, which makes it possible for the entity to experiment; the conceptual plane, which includes all those aspects related to the artistic intention, symbolism or meaning; and the biographical plane, which analyses the evolution of the work throughout its existence specifying the affectivities contributed by the community that endow it with values of all kinds (Szmelter 2013). Also, in this plane we analyze how the diverse moments in the artwork have been happening, the new editions, the interventions of restoration, the interactions with the public... Thus, this passing of the artwork will generate this third plane in the documentation, which also has to be gathered suitably, since the biography of the work, determines its current reality, that is, its current condition, and can help when making conservation decisions, especially if the conflicts previously faced by the conservators have been collected and documented (Van de Vall, R; Hölling, H. Scholte, T.; Stigter, S. 2011) and (Van de Vall 2017: 83-100).

The point is important in relation to future interventions, as documenting the decision-making process, which must take into account all the discrepant factors (historicity, iconicity, ethics, legislation, artist's opinion, art market, technical limitations...) that have taken part in it, can facilitate our work.

Contemporary artworks are made up of a series of constituents, both tangible and intangible, which have

a relative importance in relation to the quiddity of the artwork. The artist can help us to establish, for each of these elements, what their importance is in relation to the ensemble. For this purpose, and in the face of the reality of degradation, having the importance of each of these constituent elements hierarchized can help us understand to what degree the artwork would be damaged.

At times, the matter has an anecdotal role, remaining in the last places of importance for the artist. At other times, the opposite may be true. It would therefore be a question of determining which elements of the artwork are absolutely essential and must be maintained over time in order to guarantee the transmission of the entity, and which aspects of it are unimportant, anecdotal and not worth the effort of conservation [Figure 2].



Figure 2.- Nam June Paik, *Three Eggs* 1975-1982, Video, video camera, 2 colour television receivers, 2 eggs. Photograph by the author. The egg is an anecdotal element in the artwork. Its transmission over time is not possible.

Sometimes the re-editions are carried out by the conservator, who has become an agent that participates and collaborates with the artist in the mounting of exhibitions. It seems obvious that the role of documentation will become fundamental in each case to determine the ontological status of each new work (ruin, copy, rematerialization, authentic...).

The influence of social representations among the groups participating in the documentation

The social representation of the subject is an area that, as part of social psychology, analyzes the relationships between groups (Moscovici 2001), in our case, between different agents whose intention is the conservation of contemporary art (artists, curators, art historians, gallery owners, public...). Interviews with the artists are part of the process of documenting an intervention. Interviews are usually conducted early in the process and are useful in many ways. But these semi-directed interviews are not free from anticipated social representations. (Souza M.; Llamas R. 2016: 263-264).

Both the artist and the conservator bring a social, cognitive and experiential background to the moment of the initial interview, or when an installation is being assembled, for example, that can determine the result of the conversation. Thus, the information obtained from this meeting will be influenced and conditioned by different previous perceptions of both agents, which may be of an individual or group nature. Analyzing the outcome of the interviews, trying to discern how these previous representations have influenced the obtaining of information, should also be part of the documentation process.

Interviews with conservators themselves can provide important information. Conservators of contemporary art have had to face complex problems arising from the technical and material diversity of the artworks; from the inclusion of the ephemeral category; from the obsolescence suffered by new media art; from the inclusion of works whose matter is degraded against the artist's intention; from the inclusion of real life and transformation as part of the artistic discourse; and also, among others, from the use of the human body as a means of expression or by performing live actions.

In addition, the conservator-restorer has now become a participatory agent (Pereira 2017: 97-104), who is required to be neutral in the co-production processes of the artworks when working with the artist. However, this neutrality is difficult, since the decision-making processes can be influenced by the social representations acquired towards the artists' collective and vice versa. It is important to be aware of this fact, since the final objective of the relationship between both agents is to correctly document the artwork in order to bequeath it to the future. It is the conservation of the work that brings these groups together, and the ultimate purpose of documentation is the comprehension that comes from perception, experience and analysis.

Description of the proposed documentation protocols

To make the right decisions regarding conservation, restoration, exhibition, transport and storage of artworks, careful documentation is necessary. The quality of the documentation will determine the quality of the decisions taken.

A good protocol (a succession of actions) for the documentation of contemporary art must give the same importance to the documentation of the intangible aspects as to the tangible ones, collecting information that is useful also for the knowledge of the conceptual and biographical aspects.

The aim is to determine the features to be kept unchanged over time, as change is inevitable. Thus, some of the most important questions to be answered would be: in what paradigm should the artwork be situated, how does the passage of time affect the artwork, what aspects determine its consistency, what importance does pristine matter have

in relation to the entity? The analysis of the relationship of matter with the entity helps us to situate ourselves in a certain paradigm.

The answer to these questions will be reached as we study the plans that make up the artwork, so that in the end, we will have completed the process of interpretation.

In relation to the material plane, the main issues to be collected would be: the type of materials, their chemical nature (making a wide and deep description of each of them); the technique of execution of the artworks, that is, how the artist has used these materials; the degradation factors affecting the works (of the materials separately and in combination); the type, number and location of the pathologies present in the works, among others.

The analysis of the conceptual plane of the work should include: the historical-artistic contextualization of the author; the historical-artistic contextualization of the work in relation to the artist's production; the artistic intention in the work (in relation to the interpretation); the meaning of the materials that help the configuration (determining the properties by which they have been used); the study of the effect of the passage of time on the matter and its repercussion on the meaning of the artwork.

In this context, the qualities of these materials that serve the aesthetic function must be identified [Figure3], since, as Muriel Verbeek (2019) points out, conservation must pay special attention not only to the artistic intention, but also to the "...induced and perceived effect of the work, often multi-sensory and synaesthetic..."



Figure 3.- Bruce Nauman, *Violins Violence Silence*, 1981-1982, Neon tubing with clear glass tubing suspension frame. Photograph by the author. It is necessary to document the intensity, brightness and shade of the color for proper experimentation.

The biographical plane of the work should include the study of previous interventions (where decision-making processes will have already taken place); the important moments of the artwork (previous exhibitions, reissues...); the cultural context

in which it is generated (moment and social intention); the identity acquired by the work in an ethnographic sense (analysis of the values it treasures); and perhaps, also in this section, the artist's opinion about the restoration (which is different from the artistic intention, and which must be taken into account) could be included.

The study of the material plane of the artwork has been widely developed in the paradigm of scientific conservation. In order to obtain information on the conceptual plane, we can rely on interviews with the artists, analysis of written sources, collaboration with the artist himself at the time of re-edition of the works, or interviews with other agents involved in conservation (historians, curators, artistic foundations...). At the biographical level, interviews with conservators themselves, the study of previous intervention reports, the study of written sources, social and cultural studies and interviews with the public or communities may be useful.

We insist that the logical order of the proposed actions is based on the practical experience of the conservation and intends that the documentation process itself helps to; interpret and hierarchize elements in the artwork; to study their relative importance; to make decisions; to document the intervention process itself and to propose the appropriate

preventive conservation strategies. That is to say, to have all the actions of the conservator-restorer collected. We propose an open scheme that can serve as a guide when establishing the steps to be followed. The single fact of following them helps to make decisions and to document the process of intervention.

A first moment should be dedicated to collecting general identification data; a second moment should be dedicated to the study of the base materials from which the artworks are constituted (describing is easier than hierarchising). Is possible to begin by studying the constituent material, since at the end, both the condition and its meaning must be known in order to establish possible discrepancies. A third moment could be dedicated to the documentation of the conceptual plane of the artwork and the study of its semantic and symbolic aspects; a fourth moment to the study of the condition of the matter; a fifth moment to the study of the biographical plane; a sixth moment to the evaluation of the discrepant factors that are influencing the decision making; a seventh moment is dedicated to the description of the intervention process carried out; an eighth moment is dedicated to the recommended conditions of preventive conservation; and a ninth moment is dedicated to the verification of the effectiveness of our treatments or configuration strategies..

MOMENTS IN THE DOCUMENTATION RELATED TO THE CONSERVATOR'S PRACTICE

MOMENT 1. RECORDING GENERAL DATA OF THE ARTWORK

General identification data of the artwork

Study of the current situation of the work

MOMENT 2. DOCUMENTATION OF THE MATERIAL PLANE

Study of the materials that serve the configuration of the artwork

Study of the execution technique (combination of materials)

Study of the effect of the passage of time on matter at the physical-chemical level

Sources of information:

Scientific methods of analysis

Interview with the artist

Material data sheets

Industry

MOMENT 3. DOCUMENTATION OF THE CONCEPTUAL PLANE

Historical and artistic context of the author

Historical and artistic context of the artwork

Artistic intention in the work

Meaning of the materials that make up the work

Study of the effect of the passage of time on matter and its repercussion on artistic intention

Determination of the paradigm in which we find ourselves (processual, performative, scientific, death)

Hierarchy of elements of the material plane

Hierarchy of elements of the immaterial plane

Sources of information:

- Scientific methods of analysis
- Interviews with conservators
- Interview with the artist
- Historical-artistic sources
- Interviews with different agents involved in conservation: foundations, galleries, owners...

MOMENT 4. STUDY OF THE BIOGRAPHICAL PLANE OF THE ARTWORK

- Study of previous interventions*
- Study of previous decision-making processes (previous conflicts)*
- Important moments on the artwork*
- Cultural context*
- Study of identity (analysis of present values)*
- Artist's opinion on the restoration*

Sources of information:

- Study of previous intervention reports
- Institutions' databases
- Interview with the artist
- Community interviews
- Interviews with conservators

MOMENT 5. STUDY OF THE CONDITION OF MATTER

- Analysis of risk and degradation factors affecting materials separately*
- Analysis of risk and degradation factors affecting materials in combination*
- Type, quantity and location of the pathologies.*

Sources of information:

- Scientific methods of analysis
- Scientific Photography
- Interviews with conservators
- Interview with the artist

MOMENT 6. CONSIDERATION OF DISCREPANT FACTORS IN THE DECISION MAKING PROCESS: PROPOSED OPTION

- Consideration of discrepant factors: historicity, iconicity, authenticity, aesthetic factors, financial limitations, technical limitations, ethics, legislation, art market, social aspects, functionality*
- Proposed treatment or long-term conservation and display strategy*

MOMENT 7. DESCRIPTION OF THE INTERVENTION PROCESS OR CONFIGURATION STRATEGIES

- Description of the intervention process carried out*
- Determination of the ontological status of the matter serving the experimentation*
- Description of an entity configuration strategy*

MOMENT 8. SPECIFIC PREVENTIVE CONSERVATION RECOMMENDATIONS

- Study of general and specific aspects of preventive conservation*

MOMENT 9. REGULAR RESULT REVIEWS

- Verification of the results of the intervention*
- Verification of the effectiveness of the proposed conservation and configuration strategy*

Table 1.- Documentation as a methodological process towards interpretation and conservation



Figures 4, 5 and 6.- The images illustrate the before and after of an act of vandalism on a feminist mural in Ciudad Lineal, Madrid, as well as the reaction of the community to it. The act, in which numerous people pasted posters with the portraits of illustrious women on the black paint that crossed out the mural, included in the biographical plan of the work, should be taken into account in conservation decision-making, for bringing new values coming from the subject. Image source: The Independent.

Analysis of the specific issues of documentation according to the paradigm in which the artwork is included

We can begin by pointing out the special problems of the death of the artwork paradigm. This fact does not imply that matter must be discarded and the work abandoned. The artwork will be the bearer of many kinds of values that will make it worthy of conservation. However, the configuration of the artwork and therefore its experimentation will not be possible. This matter, loaded with cultural or social affectivities, will be equally preserved, but understanding its aesthetic limitations, in this case the aesthetic instance pointed out by Brandi (2002) would be definitely affected. In many cases, the various values of an iconic, symbolic, pedagogical or historical nature continue to be awarded by the artist, the community, the curator, or the institution, and all of them will make the artistic object be preserved.

Thus, the documentation of the artwork and the decision making process will not be directed to establish a specific intervention, but to establishing a long-term conservation and configuration strategy. The artistic experience could be obtained through re-editions, establishing, depending on the work, the artistic status of each new object in relation to its authenticity.

In the case of the processual paradigm, the artwork constantly mutates and transforms. The role of the conservator will be to manage this change (Van de Vall; Hölling, Scholte; Stigter, 2011), we insist that, with the intention that there is no loss of authenticity.

The usual conflicts in this paradigm occur before the need to substitute material elements, making the Truth of the artwork prevail over the importance of their pristine matter. In this case, it is absolutely necessary to have a hierarchy of all the elements of the work, of the material sphere and of the immaterial sphere, in order to determine what is immutable and what is accessory or functional, and therefore, dispensable.

Finally, in the case of the performance paradigm, several issues need to be addressed. In the first place, the possibility of recreating the artistic event must be taken into account, that is, the question must be answered: is it possible to perform again? If this is the case, the documentation process will include all those aspects necessary for the reinterpretation, that is, the "list of instructions" should be as detailed as possible.

Performances can attend to three possibilities. The first, that the artwork can only exist as live art, so that it only manifests itself in its performance; and within this circumstance, that it can only be produced on one occasion, or on several occasions.

A second possibility is that, once experienced the entity, it can be preserved in its audiovisual documentary records,

so that they acquire the status of a work of art, with no reinterpretation being possible. In the case of audiovisual documentation, it must also be considered that it may not have acquired the status of a work of art.

A third possibility would be for the performances to be transformed into installations. This occurs when the vestiges of the performances, the relics, to use the appropriate term for Hermann Nitsch's work, arranged in space according to an established artistic intention, become the work of art to be conserved.

On the other hand, it can happen, in the case of the performance paradigm, if the artistic intention so determines, that adherence to a paradigm is not exclusionary. Thus, once the performance is over, the relics or vestiges of the performance could be installed, or, thanks to the collaboration between conservator and the artist's legacy, represented.

Conclusions

The conservator-restorer, faced with the need to make decisions, requires an understanding of what the artwork really is and an analysis of where its quiddity lies (that which allows it to be classified within a category or type of artwork) and where its haecceity lies (that which makes it distinguishable within that category from another artwork, that which relates to its individual identity).

In other words, he needs to know what is substantial in the artwork, what endures the accidental features that can not exist by themselves: he needs to know what lies beyond the changing phenomena that impress our senses.

The protocol of documentation contributes to this in-depth knowledge, as it includes the analysis of the three levels on which the artwork consists: conceptual, biographical and material. In this way, the documentation process itself becomes a methodological tool that increases the possibilities of apprehending the entity and, therefore, of success in the treatment or strategy proposed.

The protocol has achieved to order chronologically the different actions that the conservator must carry out to know the artwork, and will serve, from a pragmatic point of view, to record each of his actions, from the most analytical, to the most practical.

We believe that the neutral description of the constituents of an artwork is possible, and therefore, that it is the point by which to begin the documentation. After the interpretation, which would take place in parallel with the documentation process, it would be possible to carry out the hierarchization of the constituent elements, both material and immaterial, since it is not possible to determine their relative importance before.

Since the contemporary artwork must be understood as an entity that mutates with time, this transformation must be analyzed in terms of the paradigm in which it is. We have pointed out the importance of establishing this paradigm in the first moments of the documentation: when analyzing the conceptual level of the work. This is important, since the construction of the knowledge we obtain from it and the proposed conservation actions will depend on it. In other words, it is not possible to propose an appropriate methodology for conservation or an intervention process, if the work has not first been placed in a certain paradigm. In the case of the paradigm of the processual, of the performance and of the death of the artwork, after applying a decision-making model, we no longer arrive solely at the establishment of an intervention treatment, but also at the proposal of a long-term conservation strategy; or at the proposal of a strategy to enable the future configuration of the artwork to facilitate its experimentation; or at the determination of the ontological status of the matter (relic, ruin, authentic, re-edition...).

Finally, it should be noted that forgetting is one of the most important factors of deterioration in the preservation of contemporary art.

Correct documentation of the artworks addressed to conservation, as well as the adequate recording of previous conflicts faced for their restoration (Van de Vall 2017), together with the documentation of the intervention processes themselves, will be of great help to conservators. The future existence of the artwork will be determined by the experience we obtain from it. The purpose of documentation is to ensure that that experience is as faithful as possible to what determines its consistency.

References

- ALTHÖFER, H. (2003). *Restauración de pintura contemporánea*. Tendencias, materiales, técnica. Madrid: Akal.
- BRANDI, C. (2002). *Teoría de la restauración*. Madrid: Alianza Editorial.
- CAPONI, G. (2018). "Esencia e identidad en Filosofía de la Taxonomía." *Culturas Científicas* 1 (2): 1-15
- DANTO, A. (1989). "Interpretation et Identification", *La transfiguration du banal: Une philosophie de l'art*, trad. de Claude Hary-Schaeffer, Paris: Editions du Seuil, 195-196.
- EL INDEPENDIENTE. (2021). "Colectivos vecinales cubren la pintura negra del mural de Ciudad Lineal con rostros de mujeres", Disponible en: <https://www.elindependiente.com/espana/2021/03/08/el-mural-feminista-de-ciudad-lineal-aparece-vandalizado-en-el-8m/> [Accessed in 25-05-2021].
- FERRATER MORA, J. (1975b). *Diccionario de la filosofía*. Buenos Aires: Sudamericana.
- GONZÁLEZ-VARAS, I. (2008). *Conservación de Bienes Culturales. Teoría, historia, principios y normas*. Madrid: Ediciones Cátedra, 40.
- HEYDENREICH, G. (2011). "Documentation of Change — Change of Documentation." in *Inside Installations. Theory and Practice in the Care of Complex Artworks*, ed. Scholte, T. and Wharton, G., Amsterdam: Amsterdam University Press, 155-171.
- HEYDENREICH, G.; FISCHER, A.; GIEBELER, J.; SARTORIUS, A. (2019). "The Decision-Making Model for Contemporary Art Conservation and Presentation", Colonia: Cologne Institute of Conservation Sciences / TH Köln.
- IRVIN, S. (2005). "Interprétation et description d'une oeuvre d'art", *Philosophiques*, 32(1): 135-148. <https://id.erudit.org/iderudit/011067ar> [Accessed in 2019-12-16].
- IRVIN, S. (2006). "Museums and the shaping of contemporary artworks", *Museum Management and Curatorship* 21: 143-156.
- LOCKE, J. (2002). *Compendio del ensayo sobre el entendimiento humano*. Madrid: Alianza Editorial.
- LLAMAS, R. (2014). *Arte contemporáneo y restauración. O cómo investigar entre lo material, lo esencial y lo simbólico*. Madrid, Tecnos.
- LLAMAS, R. (2020). "Some Theory for the Conservation of Contemporary Art", *Studies in Conservation*, <https://doi.org/10.1080/00393630.2020.1733790>
- MARTORE, P. (2009). "The Contemporary Artwork Between Meaning and Cultural Identity." *CeROArt*, 4. <https://doi.org/10.4000/ceroart.1287>.
- MOSCOVICI, S. (2001). *Social representations*. New York: Ed. Gerard Duveen, New York University Press.
- MUÑOZ, S. (2003). *Teoría contemporánea de la restauración*. Madrid: Editorial Síntesis, 84-86.
- PEREIRA, H. (2017). "Conservation in an era of participation", *Journal of the Institute of Conservation*, 40(2): 97-104. <https://doi.org/10.1080/19455224.2017.1319872>.
- STIGTER, S. (2016). "Autoethnography as a New Approach in Conservation", *Studies in Conservation* 61(sup.2): 227-232. <https://doi.org/10.1080/00393630.2016.1183104>
- STIGTER, S. (2017). "A behaviour index for complex artworks: A conceptual tool for contemporary art Conservation", In J. Bridgland (Ed.), *ICOM-CC 18th Triennial Conference Preprints: Copenhagen*, 4-8 September 2017 [0910] Paris: ICOM-CC.
- SOUSA, M.; LLAMAS, R. (2016). "Values, ideas, and practices in social representation of the subject: A possible dialogue between artist and conservator on Contemporary art", *Studies in Conservation*, 61(sup.2): 263-264. <https://doi.org/10.1080/00393630.2016.1181898>

SZMELTER, I. (2013). "New Values of Cultural Heritage and the Need for a New Paradigm Regarding its Some Theory For The Conservation Of Contemporary Art 11 Care." *CeROArt* [Online], <https://doi.org/10.4000/ceroart.3647>

VAN DE VALL, R; HÖLLING, H.; SCHOLTE, T.; STIGTER, S. (2011). Reflections on a biographical approach to Contemporary art Conservation, *ICOM-CC 1 th Triennial Conference Preprints: Lisbon*, 4–8 September 2011 [0910] Paris: ICOM-CC.

VAN SAAZE, V. (2013). *Installation Art and the Museum. Presentation and Conservation of Changing Artworks*, Amsterdam: Amsterdam University Press.

VAN SAAZE, V. (2014). "In the absence of documentation. Remembering Tino Sehgal's constructed situations" in ed. Almeida, L.; Macedo, R.; Heydenreich, G., *Performing documentation in the Conservation of Contemporary art*, Lisboa: Instituto da Historia de Arte.

VAN DE VALL, R; HÖLLING, H.; SCHOLTE, T.; STIGTER, S. (2011). "Reflections on a biographical approach to Contemporary art Conservation", Lisbon: *ICOM-CC: 16th Triennial Conference*, 19-23 September.

VAN DE VALL, R. (2017). "Documentando dilemas. Sobre la relevancia de los casos éticamente ambiguos." *Sin Objeto*, 00: 83–100. https://doi.org/10.18239/sinobj_2017.00.05.

VERBEECK, M. (2019). "De l'intention de l'artiste à l'effet de l'œuvre. Changer l'approche en conservation?" *CeROArt*. <https://doi.org/10.4000/ceroart.602>

VOS, A. (2006). *The philosophy of John Duns Scotus*. Norfolk: Ed. Edinburg University Press, 412.

WHARTON, G. (2013). "Dynamics of participatory conservation: The Kamehameha I sculpture Project", *Journal of the American Institute for Conservation* 47(3): 159–173. <https://doi.org/10.1179/019713608804539592>

WHARTON, G. (2015). "Public access In the age of documented art", *Revista de História da Arte* (4), 180-191.

tesis doctorales. En el ámbito de la gestión universitaria, ha sido directora académica del Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universidad Politécnica de Valencia. Cuenta con una gran cantidad de publicaciones, tanto de tipo docente como investigador. Ha publicado en las revistas nacionales e internacionales más prestigiosas, y ha participado en gran cantidad de eventos relativos a la conservación y restauración del arte contemporáneo. Ha sido la investigadora responsable de diferentes proyectos de investigación.

Artículo enviado el 02/09/2020
Artículo aceptado el 14/02/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.813>

Author/s



Rosario Llamas-Pacheco

rllamas@crbc.upv.es

Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica
<https://orcid.org/0000-0002-1238-1555>

Es doctora en Bellas Artes. Es miembro del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia. Ha impartido clase en diversas universidades, tanto en grado, como en máster y doctorado. Ha dirigido más de veinte tesis de máster y trabajos de investigación, así como varias



El reverso que no vemos. Hallazgo de un conjunto gótico actualmente disperso a partir del estudio del soporte

Iris Bautista-Morenilla, Anna Nualart-Torroja y Marta Oriola-Folch

Resumen: Este estudio confirma que el frontal de santa Eugenia (MAD 121, París) y los laterales de Ribes (MEV, 9494/9495) formaban una única obra que originalmente guarnecía el altar principal de la iglesia románica de santa Eugenia de Saga (Cerdaña, Cataluña). A la obra se le perdió el rastro tras la venta del frontal a un anticuario francés en 1896. Frontal y laterales no se habían vuelto a poner en relación debido a las diferencias de la policromía y a su supuesta procedencia distinta hasta la realización de esta investigación.

Las evidencias han sido halladas mediante el análisis científico del soporte y el estudio de los vestigios de policromía conservados en los marcos de las tres tablas. Esta es la segunda vez que se ha demostrado la unidad de los elementos disociados de un mismo mueble de altar del período del gótico lineal a partir del estudio del soporte, hecho que pone de relieve la importancia de los estudios técnicos de conservación-restauración.

Palabras clave: Gótico, Maestro de Soriguerola, frontal de santa Eugenia, laterales de altar de Ribes, conservación, soporte, policromía

The hidden verso. Discovery of a currently dispersed Gothic ensemble through the study of its support

Abstract: This study confirms that the altar frontal of Santa Eugenia (MAD 121, Paris) and the altar side panels from Ribes (MEV, 9494/9495) formed a set that originally adorned the main altar of the Romanesque church of Santa Eugenia de Saga (Cerdanya, Catalonia). The track of the ensemble was lost after its sale to a French antiquarian in 1896. The frontal and side panels had not been correlated again due to the differences in their polychromy and their supposedly different provenance until this investigation was carried out.

The proves have been found through the scientific analysis of the support and the study of the polychromy remains conserved in the frames of the three panels. This is the second time that the unity of an altar set from the lineal Gothic period has been found by means of the study of its support, a fact that highlights the importance of technical conservation-restoration studies.

Keywords: Gothic, Master of Soriguerola, altar frontal of Saint Eugenia, altar side panels from Ribes, conservation, support, polychromy

O reverso que não vemos. Achado de um conjunto gótico atualmente disperso a partir do estudo do suporte

Resumo: Este estudo confirma que o frontal de Santa Eugenia (MAD 121, Paris) e os laterais de Ribes (MEV, 9494/9495) formavam uma única obra que originalmente revestia o altar principal da igreja românica de Santa Eugenia de Saga (Cerdânia, Catalunha). Perdeu-se o rasto da obra depois da venda do frontal a um antiquário francês em 1896. Tanto a parte frontal como a lateral não foram reatribuídas devido a diferenças na policromia e à sua alegada distinta proveniência até à conclusão da presente investigação.

As evidências foram encontradas através da análise científica do suporte e do estudo dos vestígios de policromia conservados nas molduras das três tábuas. Esta é a segunda vez que se demonstrou a unidade dos elementos dissociados de um mesmo móvel de altar do período gótico linear a partir do estudo do suporte, facto que destaca a importância dos estudos técnicos de conservação-restauro.

Palavras-chave: Gótico, Mestre de Soriguerola, frontal de santa Eugenia, laterais de altar de Ribes, conservação, suporte, policromia

Introducción

Este trabajo presenta en primicia la conservación íntegra de la mesa de altar gótica de la iglesia románica de santa Eugenia de Saga (Cerdaña, Cataluña). Se trata del segundo caso en el que identificamos un frontal y unos laterales disociados como pertenecientes a una misma mesa de altar mediante el estudio del soporte. El primer caso, también de este período y zona de procedencia, fue la mesa de altar de san Cristóbal de Toses, conservado en el *Museu Nacional d'Art de Catalunya* (MNAC) (Bautista 2017: 301-310).

El grupo *Conservación-Restauración del Patrimonio* de la Universidad de Barcelona, entre otras líneas de investigación, lleva a cabo el estudio de los soportes de las mesas de altar policromadas del período románico y gótico que decoraban los altares de las iglesias de la época en los antiguos condados catalanes (hasta el momento se han estudiado 41 obras (Mascarella 2012, Bautista 2015)). Los datos derivados del estudio de los soportes pueden contribuir a confirmar o desmentir hipótesis de autoría, datación, procedencia, tipología y, como en esta ocasión, a emparejar obras fragmentadas y actualmente dispersas.

El objeto de estudio es el frontal de altar de santa Eugenia de Saga (MAD, 121), conservado en el *Musée des Arts Decoratifs* (MAD) de París y los llamados laterales de altar de Ribes (MEV, 9494/9495), custodiados por el *Museu Episcopal de Vic* (MEV), ambas piezas atribuidas al taller del Maestro de Soriguerola, pero no relacionadas entre sí.

Los resultados del análisis de los soportes de las tres tablas presentan evidencias en el sistema constructivo y en la policromía de los marcos que permiten reconocerlos como integrantes de una misma obra, en origen custodiada en la iglesia de Saga. Una vez restablecida la relación entre frontal y laterales queda resuelta la procedencia dudosa de los laterales, hasta el momento

atribuidos a una iglesia indeterminada del valle de Ribes, zona próxima a la iglesia de Saga.

- Contextualización de la mesa de altar gótica de Saga

La parroquia de santa Eugenia de Saga, situada en el municipio de Ger (Cerdaña), aparece documentada por primera vez en el Acta de Consagración de la Seu d'Urgell del año 819, documento que se considera escrito a principios del siglo XI (Gascón y Vergés 2017: 191-220).

Se trata de una iglesia de pequeñas dimensiones, revocada con mortero de cal, de una sola nave con un ábside semicircular con dos pequeñas aberturas. El muro orientado al sur tiene dos aberturas de medio punto, una de ellas cegada. Éste incluye la puerta de entrada, incorporada más tarde, que es uno de los elementos más destacados del templo. Formada por cinco arquivoltas de medio punto con decoraciones esculpidas, que descansan sobre columnas con capiteles decorados con motivos vegetales y animales con rasgos humanos.

La cubierta, igual que la portalada, se remodeló un siglo más tarde, sustituyendo la original por una bóveda apuntada de piedra, que actualmente se conserva parcialmente, siendo el resto de madera. Asimismo, cerca del ábside se había añadido una sacristía y un porche. Ambas estructuras han desaparecido, pero quedan señales de ellas en la fachada. [Figura 1].

Las tablas policromadas que decoraban la mesa de altar de la iglesia de santa Eugenia de Saga fueron separadas y siguieron destinos diferentes. El frontal se conserva en el MAD de París, y los laterales, que se habían dado hasta el momento por desaparecidos, se conservan en el MEV. A estas dos tablas actualmente se las conoce como del valle de Ribes, cercano a Santa Eugenia de Saga, y representan a los apóstoles san Pedro y san Pablo [Figura 2b] y a san Miguel con Satanás [Figura 2a].

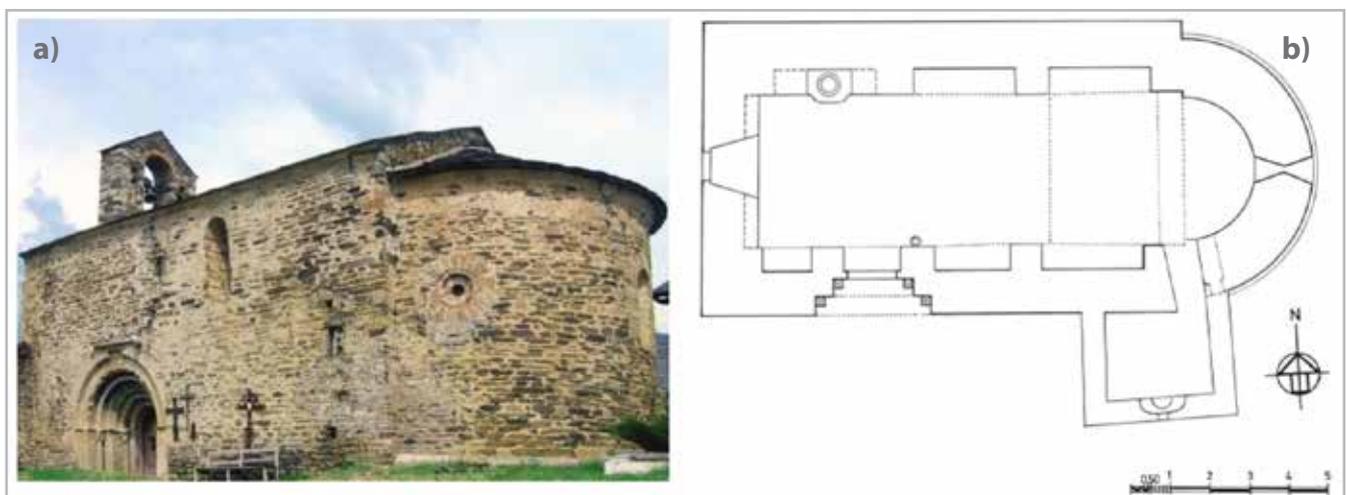


Figura 1.- (a) Iglesia románica de santa Eugenia. (©BAUTISTA) (b) Planta del templo con antigua sacristía. Fuente: Enciclopedia.cat (© VENTOSA, E.).



Figura 2.- (a) Lateral de altar de Ribes MEV 9695. (b) Frontal de altar de santa Eugenia MAD 121. (c) Lateral de altar de Ribes MEV 9694. (©BAUTISTA)

El depósito del frontal de santa Eugenia en el *Musée des Arts Décoratifs* está fechado en 1905, proveniente del legado de Emile Peyre (Melero 2005:93). Hay testimonios documentales que localizan el frontal de la Santa en la iglesia a finales del siglo XIX (Ainaud 1954:76.). La tabla fue exportada a París el año 1896 por la compra por parte del anticuario Stanislas Baron. En el mismo año, éste la vendió al coleccionista y decorador Emile Peyre. Éste, registró los detalles de la factura de compra de obras en sus "libros negros" (Rivoal 2012). Una de estas facturas hechas por Stanislas Baron, anticuario, 28 Rue Grange-Batelière, París, describe:

*"Paris, 9 juin 1896
Vendu et livré à Monsieur Émile Peyre de Paris
Savoir: Un retable peinture primitive Espagnole
(Catalogne) ou
XIIIe siècle ----- f. 550.00
Pour acquit.
Stanislas Baron"*

Por otra parte, a las dos tablas del MEV catalogadas como laterales de altar no se les asigna una procedencia conocida. En la bibliografía se atribuye su procedencia a una iglesia indeterminada del valle de Ribes (Ripollés), pero dicha procedencia es una hipótesis sin fundamento documental. Se conservan en el museo desde 1931. El primer registro manuscrito del museo que documenta los laterales es del año 1978 (Cornudella y Trullén 2007).

El frontal de santa Eugenia de Saga se ha clasificado como obra del Maestro de Soriguerola, con taller activo en la Cerdaña. Según diversos autores la pintura sigue el modelo de pintura lineal y presenta similitud con otras obras atribuidas al mismo taller, como el frontal de san Cristóbal de Toses (Ainaud 1954:76; Melero 2005:95; Durliat 1989:267-268.).

Los laterales de altar de Ribes también han sido atribuidos al Taller de Soriguerola (Ainaud 1954:75-82; Cornudella, Favà y Macías 2011:34). Varios historiadores ven similitudes entre las tablas y otras obras atribuidas al Maestro de Soriguerola (Gudiol y Alcolea 1986:26; Sureda 1984:50) y

relacionan estilísticamente las tablas de Ribes con las de Toses (Post 1930:36), otorgando una datación más tardía a las de Toses (Ainaud 1954:75-82; Cornudella, Mirambell y Trullén 2007:108-109). Otros relacionan los conjuntos de Toses y Ribes con el estilo de Soriguerola sin llegar a atribuirlos de una forma clara (Junyent 1960:247-248), presentándolos como repeticiones hechas por seguidores del Maestro de Soriguerola siguiendo su modelo artístico, compositivo e iconográfico de finales del siglo XIII y justificados con la ejemplificación de la difusión de su pintura (Manote 2005:122; Melero 1993:10-11; Cornudella, Favà y Macías 2011:34).

La zona geográfica en la que se han conservado evidencias de las obras producidas por el Taller del Maestro de Soriguerola es la Cerdaña y la época de producción se sitúa alrededor de 1300. El frontal y los laterales del altar de Saga se fechan entre finales del siglo XIII (Ainaud 1954:76; Durliat 1989:267-268) y primera mitad del siglo XIV (Melero 2005:95).

En cuanto a la iconografía representada, el frontal narra la vida y la muerte de santa Eugenia, que fue martirizada en Alejandría. El espacio compositivo está dividido en dos registros horizontales, y cada uno de ellos contiene cuatro escenas relativas a la vida de la Santa titular: santa Eugenia vestida de monja entrando en un monasterio para seguir a Cristo, el bautismo de la Santa, dos escenas dedicadas a la acusación de Melancia, santa Eugenia presa en Roma acusada de ser cristiana y tres episodios del martirio de la Santa (Melero 2005: 94).

La policromía de los fondos de las escenas del frontal presenta corladura y está gofrada con decoraciones florales. Todas las escenas están divididas por una franja roja y todo el conjunto se rodea de un marco con dieciséis círculos en bajorrelieve a modo de decoración.

Los laterales de altar presentan un único espacio compositivo de fondo rojo con estrellas amarillas. El lateral de la derecha [Figura 2c] representa a los apóstoles san Pedro, que sostiene una gran llave en la mano derecha, y san Pablo, que lleva la espada, símbolo de su martirio. El

lateral de la izquierda (figura 2a) enfrenta a san Miguel con Satanás. El Santo sostiene una balanza, en la que hay un alma representada por una pequeña figura desnuda y un demonio colgándose de la balanza para hacer contrapeso (Cornudella, Favà y Macías 2011: 32, 33).

Ambas tablas están rodeadas con un marco decorado con una cenefa geométrica que carece de uno de los largueros verticales: el larguero izquierdo en la tabla de san Pedro y san Pablo, y el larguero derecho en la tabla de san Miguel y el diablo. Las partes del marco supuestamente faltantes que cerrarían la composición, en realidad nunca han existido como tales dado que, una vez montado el conjunto, son los largueros verticales del marco del frontal los que hacen, a su vez, de marco de los plafones laterales.

Materiales y métodos

Durante el proyecto llevado a cabo para el estudio de frontales y laterales, con el fin de conseguir un corpus de conocimiento sólido y comparable con relación a los materiales y sistemas constructivos de los soportes de madera, se han empleado las técnicas de análisis siguientes:

- Imágenes con diferentes radiaciones electromagnéticas

La utilización de las imágenes que proporcionan las diferentes radiaciones electromagnéticas es fundamental para el estudio y la comprensión de las estructuras de las tablas policromadas. Estas técnicas se aplican *in situ* y son técnicas no destructivas ya que no precisan extracción de muestra. Se utilizan equipos móviles con tiempos breves de operatividad y los resultados conseguidos son inmediatos.

Generalmente la primera aproximación a la obra es a través de la observación y de los datos que proporciona la captación de imágenes con radiaciones visibles, ya sea con luz directa o rasante y con diferentes grados de ampliación. Esta técnica permite observar el número y posición de las tablas que forman el soporte de la obra, la tipología de encaje, los elementos de refuerzo, el aspecto macroscópico de la madera, las marcas de herramientas o incisiones y restos de materiales en superficie (equipo utilizado: foco de luz directa con bombilla incandescente de 100 W y cámara fotográfica digital).

La utilización de instrumental de aumento permite la observación macroscópica de la madera con más detalle, así como la detección de restos de elementos aplicados en superficie y de elementos estructurales internos aprovechando ranuras, juntas y orificios del soporte (equipo utilizado: microscopio digital de superficie Dino-LITE® a 60 y 200X, y ordenador portátil).

La luz ultravioleta, emite radiación ionizante que penetra poco en los materiales irradiados, se queda en superficie y causa la excitación eléctrica, a nivel molecular, de

las sustancias orgánicas en diferentes estados de polimerización y de algunos materiales inorgánicos, que emiten fotones visibles en forma de luz: la fluorescencia. La fluorescencia que emiten los materiales localizados en las zonas de unión de las tablas de estudio permite hacer visibles los adhesivos originales y/o añadidos en restauraciones, y otros materiales que se encuentran en superficie. Si bien no es una técnica de análisis que permita identificar materiales de manera fiable, sí permite visualizarlos, haciéndolos evidentes cuando no lo son con luz visible (equipo utilizado: Lámpara de luz ultravioleta Graphic® A47/TLD95, filtros fotográficos para la compensación de las dominantes de color y cámara fotográfica digital).

- Identificación taxonómica de la especie de madera

La identificación sistemática de la especie de la madera utilizada en la construcción de los soportes constituye también un dato significativo, ya que los diferentes tipos de madera pueden ser indicios identificativos de la manera de trabajar las estructuras de los diferentes talleres artísticos, y también pueden dar indicios del origen de la materia prima.

El análisis de identificación taxonómica de la madera según la metodología de anatomía comparada (Carreras, Pérez 2012), requiere de la extracción de una muestra de 2 a 4 mm³ en buen estado de conservación (equipo utilizado: bisturí, viales Eppendorf®, pinzas, guantes, microscopio digital de superficie Dino-LITE® y ordenador portátil).

De la muestra se extraen tres secciones (transversal, radial y tangencial), que son teñidas con el fin de resaltar las características anatómicas y deshidratadas para el montaje en el portaobjetos (equipo utilizado: lupa Binocular, hoja de corte, pinzas, colorantes histológicos azul de metileno y safranina, agua, etanol, acetona, xileno, portaobjetos, cubreobjetos, resina acrílica Entellan®).

La observación al microscopio aporta los datos suficientes para situar la madera en el grupo taxonómico adecuado (equipo utilizado: Microscopio óptico Olympus® PX-51 y complementos para fluorescencia UV, microscopio digital de superficie Dino-LITE® y ordenador portátil).

- Reconstrucción virtual en 3D

La representación virtual de la estructura de la tabla en 3D tiene el objetivo de desglosar todas las partes que constituyen el soporte para la comprensión del sistema de construcción y su comparación. Posteriormente, el dibujo permite reconstruir virtualmente la estructura del soporte, parte de la cual se puede haber perdido, modificado y/o falseado a lo largo de los años.

Previo al dibujo por ordenador, son necesarias las medidas de todas las piezas que forman el soporte de las

tablas, así como su localización. Por ello, se han realizado croquis en 2D previos a la recreación en 3D (equipo utilizado: ordenador portátil con el software Illustrator® y Rhinoceros® de McNeel®).

Resultados

A continuación, se describen los resultados del estudio que confirman que el frontal de altar de santa Eugenia de Saga y los laterales de Ribes son partes de la misma mesa de altar, antes de que fuera desmontada y vendida por separado.

- Dimensiones

Los tres paneles miden un metro de altura. Esta medida es la habitual para las tablas que decoran los altares durante el gótico (Bautista 2015). Tanto el panel central del frontal, donde se representa la iconografía de la Santa, como los paneles centrales de los dos laterales están formados por entre tres y cuatro tablas de dimensiones similares y mismo grosor, en posición vertical en los laterales y horizontal en el frontal.

Por lo que respecta a los marcos, las dimensiones de los largueros verticales que los componen también son casi

idénticas en los tres paneles, siendo de 1 m de longitud, 11 cm de anchura y 6 cm de grueso.

- Sistema constructivo

La tipología de unión utilizada para ensamblar las tablas de las tres partes es nuevamente idéntica y siguen el patrón de construcción de los frontales y laterales de altar góticos analizados en otras obras de la misma época (Bautista 2015).

La unión entre las tablas del panel central es simple, por testa. No ha sido posible detectar espigas reforzando la unión entre las tablas debido a las intervenciones de restauración realizadas en los soportes, que ocultan las zonas de unión, y porque ni el MEV ni el MAD disponen de radiografías de las obras.

Además, como se puede ver en la figura 3, las uniones entre las tablas se reforzaron originalmente con tiras de tela unidas con cola y carga inerte en el reverso de las tres obras.

En el caso del marco, tanto la unión de éste al panel central, machihembrada, como el tipo de unión entre los largueros que forman el marco, a caja y espiga a 90°, son iguales en las tres partes.

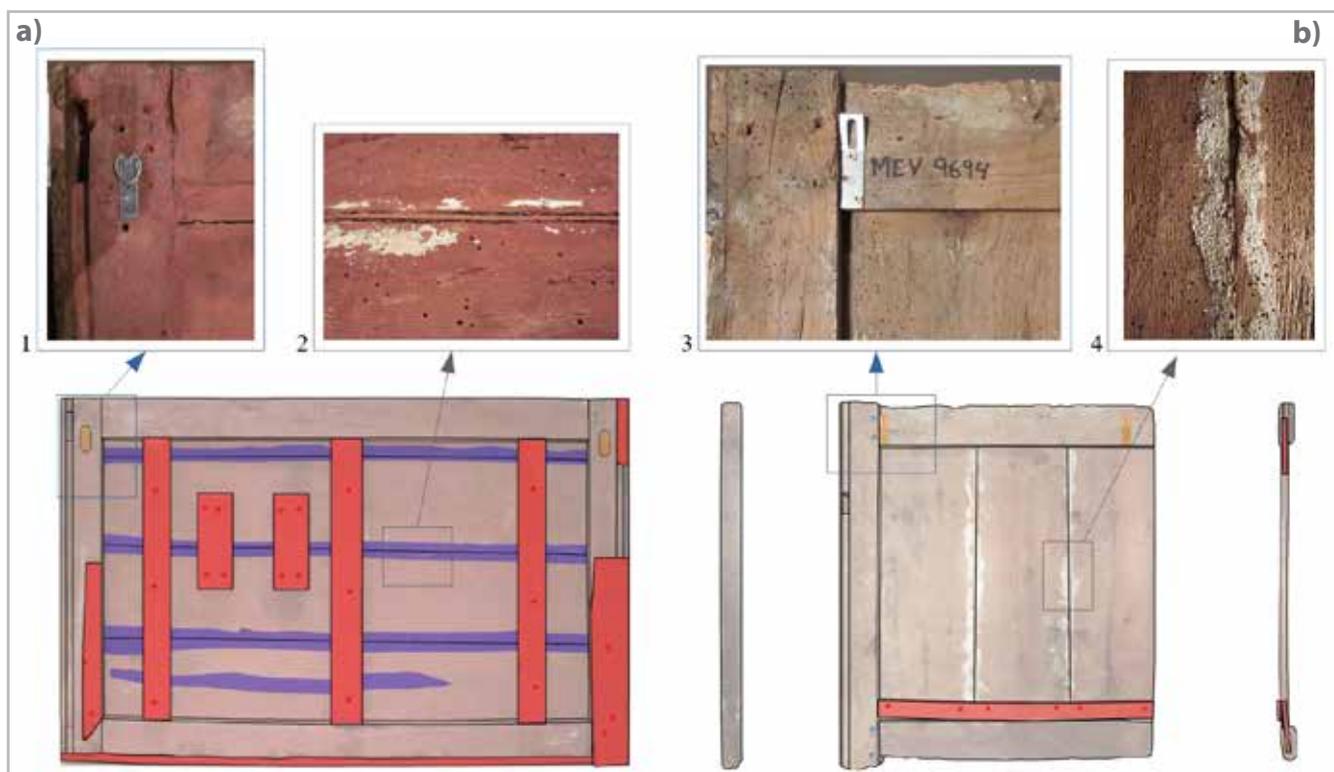


Figura 3.- (a) Reverso del frontal de santa Eugenia, resaltadas en rojo las partes añadidas. (1) Detalle del encaje del marco a caja y espiga a 90°, y (2) detalle de los vestigios del refuerzo de la unión entre las tablas, zonas resaltadas de color lila en el croquis. (b) Reverso del lateral de Ribes MEV 9694. (3) Detalle del encaje del marco a caja y espiga a 90°, y (4) detalle de los vestigios del refuerzo. (©BAUTISTA)

- Unión entre frontal y laterales

Los vestigios de unión entre las tres tablas se localizan en el reverso del frontal de santa Eugenia y en los perfiles interiores de los laterales de Ribes. En el reverso del frontal se han hallado unas ranuras de 100 cm de largo, 2 cm de ancho y 2 cm de profundidad, rebajadas en la madera de los largueros verticales del marco a 1,5 cm del perímetro lateral. Como se visualiza en el detalle de la figura 4 (a), en la parte superior e inferior de cada ranura hay unas cajas rebajadas de 8 cm de altura, 2 cm de ancho y 4,5 cm de profundidad. Las ranuras alojaban originalmente las tablas del panel central de los laterales de altar y las cajas de los extremos las lengüetas de los largueros horizontales del marco de los laterales de altar.

Para inmovilizar la unión, en la parte lateral superior de los largueros verticales del marco del frontal de altar se observa parte de una espiga de madera, a modo de pasador, para evitar que la lengüeta de los laterales de altar se saliera de la caja, tal y como se representa en el dibujo de la figura 4 (b) [Figura 4].

El tipo de unión machihembrada (o por ranura y lengüeta) de las tablas con el marco, y su equivalente a caja y espiga entre largueros de frontales y laterales fue utilizado de forma habitual en obras similares de los siglos XII y XIII (Bautista 2015:86).

Los laterales de altar de Ribes son obras muy restauradas. En algún momento posterior al desmontaje del mueble de altar se incorporaron refuerzos en el reverso y piezas de hierro en el lateral donde falta el montante vertical, para evitar que los laterales se desencajaran si se manipulaban como piezas exentas. Además, se mutilaron las lengüetas de los largueros horizontales del marco que encajaban en los largueros verticales del reverso del marco del frontal de

altar. Los vestigios, marcados de color rojo en la figura 4 (c), de las lengüetas tienen idénticas dimensiones de altura y posición que las cajas donde irían alojadas en el reverso del frontal de altar de santa Eugenia.

- Herramientas utilizadas en la construcción e identificación del tipo de madera

En los tres paneles se han identificado las mismas marcas originales de las herramientas de carpintería que se utilizaron para la construcción del soporte de las mesas de altar góticas de la misma zona geográfica (Bautista 2014, 2015). Así, en las tres partes se utilizó la sierra, la azuela y el cepillo para trabajar las tablas del panel central y para encajarlo, mediante machihembrado, al marco. Y para dar forma a los largueros del marco, según las marcas identificadas, se utilizaron nuevamente la sierra, la azuela y el cepillo; el gramil para marcar las guías de encaje, el formón y la gubia para rebajar las cajas de encaje y la barrena para perforar los agujeros por los que pasaban las espigas de madera [Figura 5].

Macroscópicamente, por el reverso, el soporte de las tres obras tiene un acabado distinto, como se muestra en la figura 6 (a). En el caso del frontal de santa Eugenia, la totalidad del reverso está cubierta con un material de color rojo terroso, no identificado, que falsea el aspecto original de la madera. Probablemente se trate de una imprimación aplicada como protección contra el biodeterioro o para homogeneizar el aspecto del reverso, realizada en una intervención de restauración sin documentar.

De los laterales de Ribes, en el lateral de san Pedro y san Pablo la madera del reverso permanece sin tratar, en su estado original, pero en el caso de San Miguel con Satanás el reverso ha sido impregnado con un material que le aporta brillo y una tonalidad más oscura.

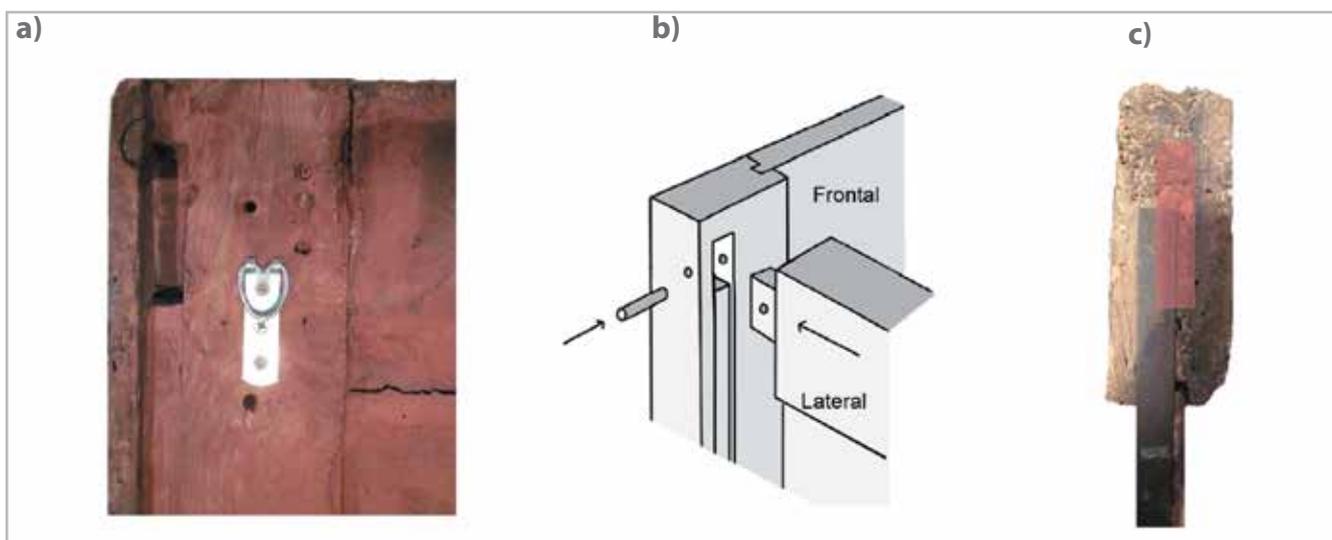


Figura 4.- (a) Detalle del ángulo superior izquierdo del reverso del frontal de santa Eugenia. Ranura vertical y caja en el marco. (b) Esquema de la unión a caja y espiga entre el frontal y el lateral. (c) Perfil del larguero superior del lateral de Ribes MEV 9694 (vista frontal). La zona coloreada en rojo corresponde a los vestigios de la lengüeta que encajaba en la caja del frontal (©BAUTISTA).

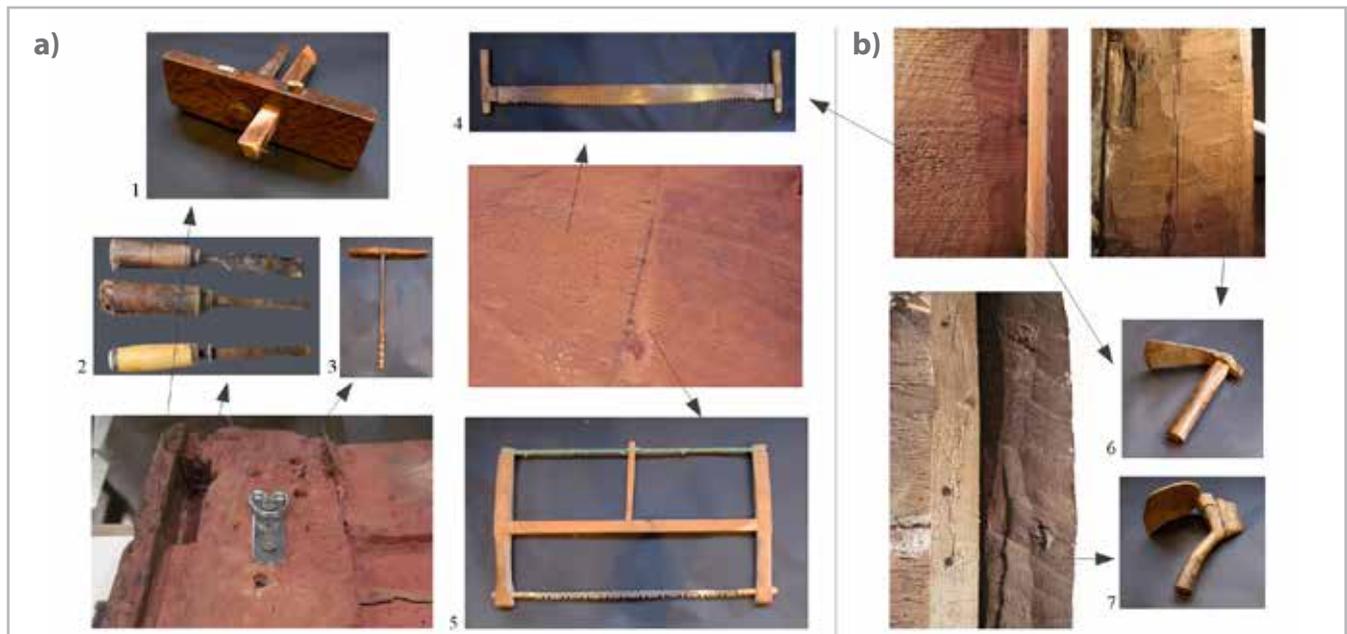


Figura 5.- (a) Detalles del reverso del frontal de santa Eugenia. Marcas originales de gramil (1) para marcar las guías, formón (2) para rebajar las cajas, barrena (3) para los agujeros que alojan las espigas y sierra (4 y 5) para cortar las tablas. (b) Laterales de Ribes. Marcas originales de azuela (6 y 7) en el reverso (©BAUTISTA).

Dado el aspecto distinto de la madera de las tres piezas se ha optado por analizar la especie de madera de los tres soportes. El método de análisis que se ha utilizado es el de anatomía comparada (Carreras, Pérez 2018).

Nuevamente el resultado coincide en los tres casos, siendo *pinus nigra* la especie de las tres tablas (véase la figura 6). Los análisis muestran una transición muy abrupta entre madera primeriza y tardía (las traqueidas son de sección poligonal en la madera de primavera y más ovaladas en la de verano). Además, presentan canales resiníferos axiales con células epiteliales de paredes finas, radios leñosos uniseriados de 8 a 15 células de altura, y campos de cruce

de tipo *fenestriforme*, generalmente uno por campo en sección radial. La similitud de la anatomía de las tres maderas plantea la hipótesis que procedan de una misma zona de crecimiento.

Este dato coincide con la mayoría de las tablas policromadas góticas analizadas por el grupo de *Conservación-Restauración del Patrimonio*, de las que un 75% corresponde al grupo de las coníferas y a la familia de las pináceas, predominando las especies de *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*. Otro dato a destacar es que el soporte del 93% de las obras estudiadas está formado por una misma especie de madera (Bautista 2015).[Figura 6]

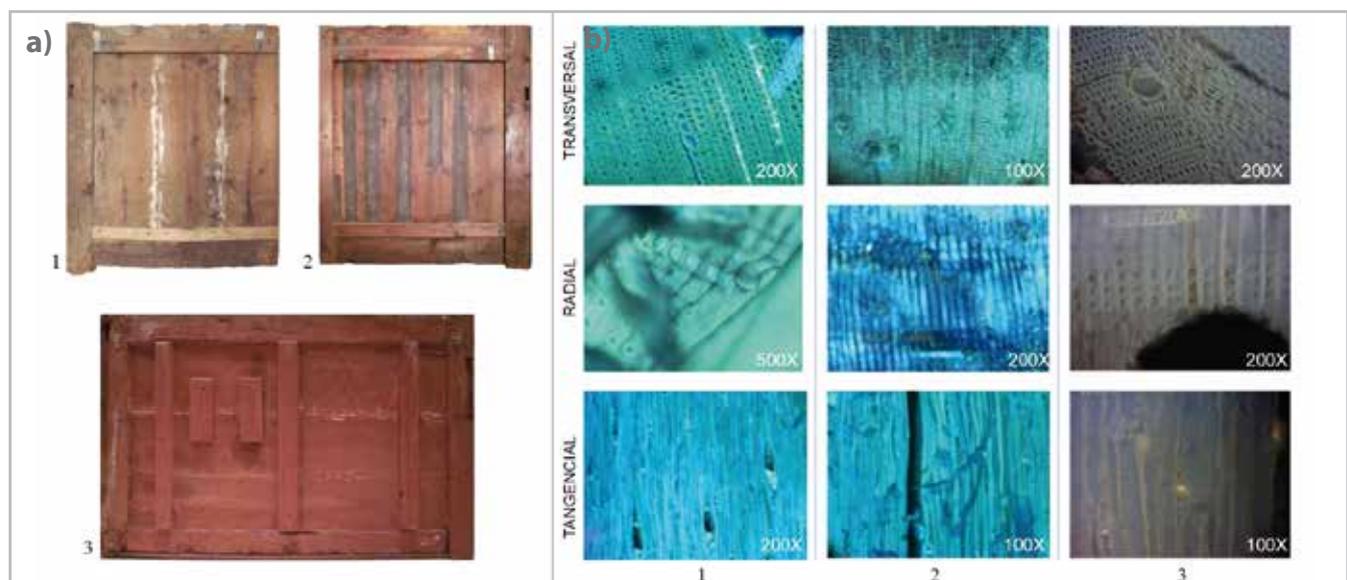


Figura 6.- (a) Reversos de las obras con tratamientos distintos. (b) Imágenes de los resultados de los análisis de madera. (1) MEV 9694, (2) MEV 9695 y (3) MAD 121 (©BAUTISTA).

- Policromía de los marcos del frontal y laterales

Las coincidencias entre las tres partes descritas hasta ahora corresponden al estudio del soporte, pero, además también se han encontrado coincidencias en la capa pictórica de los montantes que configuran los marcos de frontal y laterales.

A primera vista la policromía del marco del frontal de santa Eugenia y la de los laterales de Ribes no siguen un mismo patrón ni tienen relación estilística alguna. Por un lado, el marco del frontal, en su cara anterior, está decorado con círculos cóncavos y no conserva casi policromía, mientras que el marco de los laterales, en su cara anterior presenta una cenefa geométrica de cuatro colores.

En otras mesas de altar conservadas, los laterales comparten uno de los largueros verticales del marco con el frontal. Este larguero compartido, que corresponde estructuralmente al frontal, si lo vemos desde la posición del lateral (por el canto), tiene la misma policromía que el resto del marco de los laterales (Bautista, Nualart 2017).

Esto ocurre también en el caso que estamos estudiando, en el que los laterales o cantos externos de los largueros verticales del marco del frontal tienen la misma decoración geométrica en cuatro colores que el marco de los laterales de la mesa de altar. Además, como se muestra en la figura 7, se han encontrado en el reverso del frontal de santa Eugenia restos del mismo tipo de policromía negra que tienen los laterales de altar de Ribes, en la zona que pertenecía al bisel del marco de la unión entre el frontal y los laterales. Cabe señalar que el estado de conservación de la policromía del marco del frontal y la de los laterales es muy distinto, lo que dificulta la comparación de los colores de la policromía.

La decoración del marco coincidente entre las tres partes de la obra consiste en una cenefa de cuatro colores: amarillo, rojo, negro y blanco, que se van alternando. El amarillo y el



Figura 7.- (1) Detalle del reverso del frontal con restos de policromía negra que corresponde al bisel del marco de los laterales, (2) Policromía del lado externo del larguero vertical del marco del frontal, (3) Detalle de la policromía 2, (4) Detalle de la policromía (cenefa) del marco del lateral derecho, (5) Detalle de la policromía del perfil interior del marco del lateral derecho –bisel interior negro y cenefa– que coincide con los restos encontrados en el reverso del frontal (©BAUTISTA).

rojo están flanqueados por una doble línea negra, y en la zona negra se representan tres puntos blancos.

Discusión. Recreación en 3D

La tridimensionalidad de la obra junto con las capas de policromía superpuestas hace que la estructura no sea fácil de interpretar. La observación completa de la superficie de una tabla policromada se hace en dos momentos diferentes, por el anverso y por el reverso. Sin embargo, los objetos tridimensionales se comprenden cuando se ven en conjunto, y para visualizar su estructura interna, y entender cómo está construida puede recurrirse a su representación gráfica.

La decoración de una mesa de altar mediante tablas policromadas es un trabajo artesanal creado a medida, por lo que no cabe la posibilidad de la casualidad en la coincidencia de los datos presentados para las tres partes de la obra.

De este modo, si la posición y las dimensiones de todos los elementos de unión entre laterales y frontal coinciden, podemos afirmar que los tres paneles formaron parte de la mesa de altar de la iglesia de Saga.

Con el fin de confirmar la coincidencia de los encajes, medidas y posición de los diferentes elementos estructurales del frontal y los laterales de altar de santa Eugenia de Saga, así como para visualizar el encaje de las tres partes actualmente dispersas, se ha realizado la recreación virtual en 3D. Para ello se ha reconstruido el conjunto tal y como era originalmente, eliminando las partes añadidas en restauraciones antiguas y reconstruyendo virtualmente las partes mutiladas, siguiendo los vestigios.

Una vez reconstruidas por separado las tres partes se han unido virtualmente laterales y frontal de altar y se ha comprobado que encajan a la perfección: las lengüetas del marco de los laterales tienen la misma medida que las cajas del reverso del frontal y a la vez están a la misma altura [véase la Figura 8].



Figura 8.- Reconstrucción fotográfica en 3D de la unión entre el frontal de santa Eugenia y uno de los laterales de Ribes. La visión del larguero vertical del marco que comparten ambos elementos se muestra al 50% de transparencia para visualizar los encajes ocultos (©BAUTISTA).



Figura 9.- Reconstrucción virtual del conjunto original de decoración de altar entre el frontal de santa Eugenia y los laterales de altar de Ribes. (a) Visión izquierda. (b) Visión derecha. (©BAUTISTA)

Vista desde el anverso, la tabla que representa a san Miguel con Satanás estaba situada en el lateral izquierdo del altar y por eso tiene el marco decorado con la cenefa en el extremo izquierdo. El otro extremo encaja en la parte posterior del marco del frontal de santa Eugenia, y así se completa el marco del lateral de altar. Por otra parte, el lateral que representa los apóstoles tiene la cenefa en el extremo derecho, visto desde el anverso, y el otro extremo, sin marco vertical, encaja en el frontal tal, y como se representa en la Figura 9.

Conclusiones

Los tres elementos estudiados el frontal de santa Eugenia (MAD 121) y los dos laterales de altar de Ribes (MEV, 9694 y 9695) presentan coincidencias en las dimensiones, las soluciones tecnológicas de la construcción del soporte, el sistema de unión entre los laterales y el frontal de altar, las marcas de herramientas, la tipología taxonómica de la madera y la policromía de los marcos (véase la tabla del anexo).

Estas evidencias han pasado desapercibidas hasta nuestros días debido, probablemente, a que tanto el frontal como los laterales han sido restaurados en varias ocasiones por manos distintas y con criterios de intervención diferentes, ocultando y/o modificando parte de la estructura de soporte original. Y a que la policromía lateral del marco del frontal, que coincide con la de los laterales, se conserva en muy malas condiciones.

El encaje perfecto entre el frontal de santa Eugenia y los laterales de altar de Ribes, hoy en día separados y descontextualizados, permite confirmar la hipótesis que originalmente formaron parte de una misma obra. La similitud de los vestigios de la policromía hallada en el reverso y los cantos del marco del frontal con la del marco de los laterales corroboran esta hipótesis.

Esta relación es inédita ya que nunca se había planteado que los tres paneles formaran parte del mismo mueble de altar una vez perdida la evidencia después de su separación. Es posible que la no vinculación se deba a la diferencia estilística con respecto al dinamismo y las proporciones de los personajes representados en el frontal y los laterales, como sucedía en el altar de san Cristóbal de Toses (Cornudella R., Favà, C., Macías, G. 2011) además de la errónea atribución no documentada de la procedencia de los laterales.

La reconstrucción virtual en 3D de los tres paneles, a partir del dibujo técnico acotado y del análisis minucioso de los soportes, se ha confirmado como una herramienta muy útil para estudiar el encaje de las partes de la mesa de altar, estando estas dispersas en dos museos de países distintos y alejadas varios miles de kilómetros.

Con este estudio se añaden nuevos elementos que contribuyen a enriquecer el legado del taller del Maestro de Soriguerola. Se confirma que los laterales de Ribes y el frontal de santa Eugenia fueron confeccionados por un mismo taller y se resuelve la procedencia de los laterales, hasta el momento atribuidos a una iglesia indeterminada del valle de Ribes, dado que ahora, una vez confirmada su vinculación, se puede afirmar que las tres partes proceden de la iglesia de santa Eugenia de Saga, del municipio de Ger (Cerdaña).

Los datos aportados podrán ser completados o constituir un punto de partida para el análisis comparativo de la policromía entre el frontal y los laterales, así como el estudio estilístico, de manera que se pueda llegar a una mirada holística sobre la obra.

Finalmente, esta investigación reivindica la importancia de la conservación y el estudio de los soportes, por su valor histórico y documental, porque pueden aportar datos objetivos complementarios a los estudios de la policromía y que a menudo han sido los grandes olvidados en las actuaciones de conservación-restauración.

Agradecimientos

Esta investigación no hubiera sido posible sin la colaboración del *Musée des Arts Décoratifs* de París y el *Museu Episcopal de Vic* donde se custodian el frontal y los laterales de la mesa que han permitido su estudio in situ y la extracción de muestras de madera para su análisis, por lo que les debemos nuestro más sincero agradecimiento.

Referencias

AINAUD, J. (1954). "El Maestro de Soriguerola y los inicios de la pintura gótica catalana. *Revista de Arte Goya*. Madrid: La Fundación. Nº2: 75-82.

BAUTISTA, I. (2015): Del frontal d'altar al retaule primitiu. Anàlisi científica de l'evolució tecnològica dels suports de fusta del gòtic lineal català. Tesis doctoral. Barcelona: TDX, Universitat de Barcelona. <http://hdl.handle.net/10803/306263> [consulta 18/01/2022].

BAUTISTA I., NUALART A. (2017). "Frontal y laterales de altar de San Cristóbal de Toses. Confirmación del conjunto gótico mediante el estudio del soporte". *Archivo Español de Arte*, 90 (359): 301-310. <https://doi.org/10.3989/aearte.2017.20>

CARRERAS, R., PÉREZ, E. (2018). *Maderas en bienes culturales europeos: identificación microscópica y casos prácticos*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/113115>. [consulta 18/01/2022].

CORNUDELLA, R., FAVÀ, C., MACÍAS, G. (2011). *El Gòtic a les col·leccions del Museu Nacional d'Art de Catalunya*. Barcelona: MNAC.

CORNUDELLA, R., TRULLÉN, J. (2007). *Museu Episcopal de Vic*, Guia de les col·leccions, Pintura. Vic: MEV.

DURLIAT, M. (1989). *L'art en el regne de Mallorca*. Mallorca: Moll.

GASCÓN, C., VERGÉS, O. (2017). "L'acta de consagració de la catedral d'Urgell. Un fals del temps del bisbe Ermengol redactat entre 1016 i 1024" a *Afers. Fulls de Recerca i Pensament.*, 86. Catarroja.

GUDIOL, J., ALCOLEA, S. (1986). *Pintura gòtica catalana*, Barcelona: Polígrafa.

JUNYENT, E. (1960). *Catalogne romane*. Sainte-Marie-de-la-Pierre-qui-vire: Zodiaque.

MANOTE, M^a R., PADRÓS, M^a R., RUIZ, F. (2005). *Guia visual art Gòtic del Museu Nacional d'Art de Catalunya*. Barcelona: MNAC.

MASCARELLA, M. (2012). Els suports dels frontals d'altar romànics atribuïts als tallers de Vic i Ripoll. Documentació i estudi tècnic. Tesis doctoral inédita. Universitat de Barcelona

MELERO, M. (1993). El Maestro de Soriguerola. Puntualizaciones sobre el inicio de la pintura lineal en Cataluña. *Pintura sobre tabla. Boletín del Museo e Instituto Camón Aznar*, LII.

MELERO, M. (2005). *La pintura sobre tabla del gòtico lineal*. Barcelona: Memoria Artium.

NUALART, A., MASCARELLA, M., BAUTISTA, I. (2014). Frontals d'altar medievals: Marques d'eines a la fusta i tecnologia de construcció del suport. *La Recerca en Conservació des de la visió del Conservador-Restaurador II*. 1(1): 29-36. <http://hdl.handle.net/2445/58643> [consulta 18/01/2022].

POST, C. (1930). *A History of Spanish Painting*, London: Humphrey Milford Oxford University Press, 1.

RIVOAL, A. (2012). *Conservation-Restoration de la Vie de Saint André, panneau peint catalan, fin XIIIe – début XIVe siècle*. Paris: Institut National du Patrimoine, Musée des Arts Décoratifs.

SUREDA, J. (1984): Sobre el estudio de la secuencia pictórica protogótica en los condados catalanes I. Estado de la cuestión. *Boletín del Museo e Instituto Camón Aznar*, XV.

Anexo: Tabla 1.- Comparación de los resultados del estudio.

	Comparación de los resultados	Frontal 121 (MAD)	Lateral 9694 (MEV)	Lateral 9695 (MEV)
Dimensiones	Altura x anchura máxima	100 x 151 cm	100 x 83 cm	100 x 84 cm
	Panel central			
	N.º de tablas	4	3	4
	Dirección de las tablas	Horizontal	Vertical	Vertical
	Altura y anchura media de las tablas	23,5 x 129 cm	74 x 24,5 cm	76 x 18,5 cm
	Grosor de las tablas	2 cm	2 cm	2 cm

	Marco			
	Longitud largueros verticales	100 cm	100 cm	100 cm
	Anchura largueros verticales	11 cm	11 cm	11 cm
	Anchura largueros horizontales	12 cm	11 cm	11 cm
	Grueso largueros verticales	6 – 5,5 cm	6 cm	5,5 cm
Construcción de los paneles	Panel central			
	Unión entre tablas	Simple o con espiga	Simple o con espiga	Simple o con espiga
	Refuerzo unión	Tiras de tela (cola y carga)	Tiras de tela (cola y carga)	Tiras de tela (cola y carga)
	Marco			
	Unión con el panel central	Machihembrado	Machihembrado	Machihembrado
	Ángulo de unión	90°	90°	90°
	Unión de los largueros del marco	Caja y espiga	Caja y espiga	Caja y espiga
	Elemento decorativo	Bisel / círculos	Bisel (m. horizontal)	No bisel
Unión entre frontal y laterales	Dimensiones de la caja	8 x 2 x 4,5 cm		
	Dimensiones de las lengüetas		8 x 2 cm	8 x 2 cm
	Situación de la caja	Lateral: 1,5 cm Superior: 3 cm		
	Situación de la lengüeta		Lateral: 1,5 cm Superior: 3 cm	Lateral: 1,5 cm Superior: 3 cm
	Unión con los laterales de altar	Caja y espiga - Machihembrado		
	Unión con el frontal de altar		Caja y espiga - Machihembrado	Caja y espiga - Machihembrado
Herramientas y tipo de madera	Tablas del panel central	Sierra y cepillo	Azuela y cepillo	Sierra, cepillo y azuela
	Largueros del marco	Sierra, azuela, cepillo, gramil, formón y barrena.	Azuela, cepillo, gramil, formón y barrena.	Azuela, cepillo, gramil, formón y barrena.
	Tipología de madera	Familia: Pináceas (Pinaceae) Especie: Pinaza (Pinus nigra Arn.)	Familia: Pináceas (Pinaceae) Especie: Pinaza (Pinus nigra Arn.)	Familia: Pináceas (Pinaceae) Especie: Pinaza (Pinus nigra Arn.)
Policromía del marco	Anverso de los largueros	Cenefa lineal (corladura, negro y puntos blancos)	Cenefa geométrica (amarillo, rojo, negro y puntos blancos)	Cenefa geométrica (amarillo, rojo, negro y puntos blancos)
	Lateral de los largueros verticales	Cenefa geométrica (amarillo, rojo, blanco y negro)	Sin policromía	Sin policromía

Autor/es

**Iris Bautista Morenilla**

ibautista@ub.edu

Departamento de Artes y Conservación-
Restauración. Facultad de Bellas Artes
Universitat de Barcelona

<https://orcid.org/000-0002-0943-9389>

Licenciada en Bellas Artes, especialidad en Conservación - Restauración (2010), Máster Oficial en Dirección de Proyectos de Conservación-Restauración (2012), Máster Oficial en Formación de Profesorado (2018) y Doctora por la Universitat de Barcelona (2015). Ha trabajado como conservadora-restauradora en diferentes instituciones públicas y privadas (2010-2020) y como docente en la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) (2020). Actualmente es profesora Lectora del Departamento de Artes y Conservación-Restauración de la Facultad de Bellas Artes de la Universitat de Barcelona (UB). Docente en el Grado en Conservación-restauración de bienes culturales y en el Máster en Dirección de proyectos de conservación-restauración. Es miembro del grupo de investigación *Conservació - Restauració del Patrimoni* de la Universitat de Barcelona. Sus intereses científicos y líneas de investigación se centran en el estudio, documentación, caracterización e identificación de materiales orgánicos, y tratamientos de conservación-restauración de bienes culturales.

**Anna Nualart-Torroja**

anualart@ub.edu

Departamento de Artes y Conservación-
Restauración. Facultad de Bellas Artes
Universitat de Barcelona

<https://orcid.org/0000-0002-1956-0767>

Licenciada en Bellas Artes, especialidad en Conservación-Restauración (1989) y Doctora por la Universitat de Barcelona (2007). Conservadora-restauradora de pintura, especializada en pintura sobre madera. Profesora Agregada del Departamento de Artes y Conservación-Restauración de la Facultad de Bellas Artes de la UB. Docente en el Grado en Conservación-restauración de bienes culturales y en el Máster en Dirección de proyectos de conservación-restauración de la Universitat de Barcelona. Miembro del grupo de investigación *Conservació-Restauració del Patrimoni* de la Universitat de Barcelona. Líneas de investigación actuales: Los soportes de madera de los bienes culturales, identificación taxonómica, tratamientos de conservación-restauración; Estudio de la tecnología de construcción de los soportes de madera, marcas de herramientas usadas para su construcción y reparaciones; Limpieza de superficies policromadas; Historia de la conservación-restauración y de los materiales utilizados. Adhesivos y consolidantes para policromías y soportes de madera.

Ha participado en varios proyectos de investigación:

- L'Innovation dans la formation pour les biens culturels: un nouveau curriculum euro-méditerranéen pour le préservation de biens culturels . 2013 - 2016 . Ref.G.A.: 2013-4534/001-001 . Education, Audiovisual and Culture Executive Agency (EACEA)
- Identificación de patologías causadas por el acetato de polivinilo

en bienes culturales. Propuestas de tratamiento . 2006 - 2009 . Ref. HUM2006-05345/ . Ministerio de Educación y Ciencia .

- Problemas de conservación-restauración en la pintura mural arrancada. Alteraciones causadas por el envejecimiento del acetato de polivinilo como adhesivo de traspaso . 2002 - 2005 . Ref.BHA2002-02411. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT)
- NANomaterials for the REStoration of works of ART [NANORESTART] . 2015 - 2018 . Ref.646063, European Union.
- Cultural Heritage Actions to Refine Training, Education and Roles [CHARTER] Erasmus+ Project, EU2021-2024 GA No. 621572-EPP-1-2020-1-ES-EPPKA2-SSA-B

**Marta Oriola-Folch**

martaoriola@ub.edu

Departamento de Artes y Conservación-
Restauración. Facultad de Bellas Artes
Universitat de Barcelona

<https://orcid.org/0000-0002-9233-6390>

Licenciada en Bellas Artes, especialidad en Conservación-Restauración (UB, 1997), Master of Arts en Conservación-Restauración de Pintura (University of Northumbria, 2000) y Doctora en Bellas Artes (UB, 2012). Conservadora-restauradora de pintura, ha trabajado en el Departamento de Conservación-Restauración del Cleveland Museum of Art (EE.UU.) (2000-2003) y como conservadora-restauradora autónoma en diferentes instituciones públicas (2003-2007). Desde el 2007 y hasta la actualidad imparte docencia en conservación-restauración de pintura en el Grado en Conservación-restauración de bienes culturales y en el Máster en Dirección de proyectos de conservación-restauración de la Universitat de Barcelona. Es miembro del grupo de investigación *Conservació-Restauració del Patrimoni* (UB) y ha participado en proyectos de investigación como:

- Identificación de patologías causadas por el acetato de polivinilo en bienes culturales. Propuestas de tratamiento . 2006 - 2009 . Ref. HUM2006-05345. Ministerio de Educación y Ciencia .
- Nuevos retos en la conservación-restauración de 9 pinturas de Francesc Artigau: problemas derivados del deterioro del soporte de madera de contrachapado. 2009-2010, UB.
- NANomaterials for the REStoration of works of ART [NANORESTART] . 2015 - 2018. Ref.646063, European Union.

Artículo enviado el 13/05/2021
Artículo aceptado el 16/02/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.994>



El Programa de Conservación en un museo. Estudio de caso del Proyecto Museográfico del Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas (Cartagena)

Soledad Pérez Mateo, Milagros Buendía Ortuño

Resumen: El Programa de Conservación es parte fundamental del Programa de Colecciones de un museo porque define una metodología de trabajo para abordar la conservación del patrimonio que contiene. La conservación preventiva del mismo ha sido y sigue siendo un objetivo prioritario. En el presente artículo se analizan la implementación del Programa de Conservación y las funciones desarrolladas durante las obras de construcción de la nueva sede del Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas, que culminarían con la apertura del actual museo en 2008 y con un cambio de denominación institucional (Museo Nacional de Arqueología Subacuática ARQVA). Así mismo, se presentan las principales líneas de actuación realizadas en el marco de dicho programa, que aborda una colección arqueológica singular por su procedencia subacuática, pero también por la cantidad y diversidad de materiales de diferentes contextos históricos y culturales.

Palabras clave: Programa de Conservación, conservación preventiva, patrimonio arqueológico subacuático, Museo Nacional de Arqueología Marítima

The Conservation Program in a museum. Case study of the Museum Project of the National Museum of Maritime Archeology and the National Center for Underwater Archaeological Research (Cartagena)

Abstract: The Conservation Program is a key part of a museum's Collections Program because it defines a working methodology to address the conservation of the heritage that it contains. Its preventive conservation has been and continues to be a priority. In this paper, the implementation of the Conservation Program and the functions developed during the construction of the new building of the National Museum of Maritime Archeology and the National Center for Underwater Archaeological Research are analyzed, which would culminate with the opening of the current museum in 2008 and with a change of name (National Museum of Underwater Archeology ARQVA). In addition, the main strategies carried out within the framework of this program are presented, which addresses a unique archaeological collection due to its underwater origin but also due to the quantity and diversity of materials from different historical and cultural contexts.

Keywords: Conservation Program, preventive conservation, underwater archaeological heritage, National Museum of Maritime Archeology

O Programa de Conservação num museu. Estudo de caso do Projeto Museográfico do Museu Nacional de Arqueologia Marítima e Centro Nacional de Investigações Arqueológicas Submarinas (Cartagena)

Resumo: O Programa de Conservação é parte fundamental do Programa de Coleções de um museu porque define uma metodologia de trabalho para abordar a conservação do património que contém. A sua conservação preventiva tem sido e continua a ser um objectivo prioritário. No presente artigo analisa-se a implementação do Programa de Conservação e as funções desenvolvidas durante as obras de construção da nova sede do Museu Nacional de Arqueologia Marítima e Centro Nacional de Pesquisas Arqueológicas Submarinas, que culminariam com a abertura do atual museu em 2008 e com uma mudança de denominação institucional (Museu Nacional de Arqueologia Subaquática ARQVA). Apresentam-se também as principais linhas de atuação realizadas no âmbito deste programa, que aborda uma coleção arqueológica singular devido à sua procedência subaquática, mas também pela quantidade e diversidade de materiais de diferentes contextos históricos e culturais.

Palavras-chave: Programa de Conservação, conservação preventiva, património arqueológico subaquático, Museu Nacional de Arqueologia Marítima

Estado de la cuestión

Los museos deben contar con un Programa de Conservación, un documento que define y establece las prioridades y condiciones necesarias para la conservación de sus colecciones, y que canaliza los objetivos en materia de conservación y la participación tanto de especialistas de los más diversos campos de estudio, como de las diferentes administraciones, generando una cultura de la colaboración que resulta enormemente positiva para la investigación y el intercambio de conocimiento. La carencia de dicho programa repercute negativamente en la imagen que la sociedad tiene de la institución museística y, en consecuencia, de los profesionales que trabajan en ella. Es necesario plantearlo como un instrumento de valor añadido, integral, global y participativo, que cuente con una visión del futuro deseable y unos objetivos concretos. Sólo así contribuiremos a la eficacia en la gestión del museo. Los objetivos deben ser factibles pero ¿cómo se tienen las suficientes garantías por parte de los técnicos del museo responsables de la conservación de las colecciones? Debemos evitar el oportunismo, la intromisión y el control presentes en las actuaciones de muchos de estos técnicos.

El Programa de Conservación forma parte del Programa de Colecciones de cualquier Plan Museológico, como se recoge en *Criterios para la elaboración del Plan Museológico* (2005). Define la totalidad del proceso de planificación al organizar una serie de actividades y programar acciones en función de un período de tiempo establecido. Debe ser flexible, capaz de ser revisado y contrastado mediante consenso y cualquier modificación que se realice debe estar fundamentada con criterios objetivos. El debate debe servir para fomentar la unión, no para generar el efecto contrario. La participación es clave para conseguir el consenso social y una cultura estratégica. Defendemos la existencia de un Programa de Conservación llevado a cabo por el conservador-restaurador, como especialista en el ámbito que contempla dicho programa. El reconocimiento de la actividad del conservador-restaurador clarifica además las funciones del resto de técnicos del museo, evita el solapamiento o intrusismo de funciones, hay una mayor eficiencia y consumo racional en el uso de los recursos disponibles, incrementa la investigación sobre los tratamientos, genera impacto en publicaciones científicas, controla el proceso de conservación mediante indicadores de seguimiento, entre otros, en definitiva se aclaran los objetivos a alcanzar ¿para qué estamos aquí?, ¿para quién estamos aquí?, ¿adónde vamos?, ¿cómo vamos a llegar allí?, ¿cómo de bien lo estamos haciendo? son algunos de los interrogantes que recogen Hermsilla y Fernández (2020: 35) y que debemos tener siempre presentes. Sus ventajas son evidentes: permite establecer las necesidades, las carencias y las prioridades, el aprovechamiento de sinergias, la concentración en objetivos, la mejora sustancial de los resultados, la aplicación de criterios de conservación-restauración de acuerdo a la deontología, el desarrollo de un Plan de Conservación Preventiva, la garantía de opinión pública y la apertura para la

generación de recursos, entre otros. El núcleo fundamental del programa es la conservación preventiva en tanto que permite definir prioridades respecto a recursos, medios y procedimientos para la conservación de los bienes, priorizando la prevención del deterioro, en la línea del *Plan Nacional de Conservación Preventiva* (2011) del Instituto de Patrimonio Cultural de España (IPCE), documento base para desarrollar el Plan de Conservación Preventiva de ARQVA, en el que estamos trabajando en la actualidad.

En el presente trabajo se analiza el Programa de Conservación del Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas (MNAM-CNIAS) durante las obras de la nueva sede^[1]. El Programa fue coordinado por la conservadora-restauradora Milagros Buendía^[2] entre 2006 y 2008 y contemplaba unos procedimientos de actuación que iremos desarrollando a continuación. Aunque parezca una obviedad reiteramos la importancia de conocer las funciones del conservador-restaurador, puesto que en la actualidad seguimos presenciando actuaciones erróneas y ajenas a la deontología profesional, vinculadas a la idea del "remiendo", sacar brillo o dar una apariencia estética, justificándose en una visión simplista de que cuanto más completa, limpia o reluciente esté la pieza mejor la entenderán o les gustará más a nuestros visitantes. Como señalan Maarleveld, Guérin y Egger el objetivo de la conservación no es dejar el bien "como nuevo" sino revelar su forma y la información arqueológica que contiene sin perder la historia que ha grabado en él su proceso de degradación (2013: 185). La conservación es una materia en continua evolución, por lo que es importante que los profesionales que ejercen esta disciplina, los conservadores-restauradores, tengan una formación continua basada en la actualización de conocimientos, en la publicación de los resultados y en el intercambio de experiencias. Las funciones del conservador-restaurador se establecieron en el Comité para la Conservación en su 7ª Reunión trienal (Copenhague 1984) y reiteradas por el ICOM en 1986. Las Jornadas del SUMMIT Europeo (1997) señalan que "el conservador-restaurador debe participar en el proceso de decisión desde la fase de concepción del proyecto de conservación-restauración y que debe asumir, en colaboración con otras profesiones implicadas las responsabilidades derivadas de su competencia" (Grupo de Trabajo de la SGME 2005: 62). Su papel en la salvaguarda del patrimonio es fundamental y debe estar presente en la toma de decisiones en igualdad de condiciones con otros profesionales que trabajan en el ámbito del patrimonio, idea reiterada en la "Declaración de Nájera" (2015).

Estudio de caso: el MNAM-CNIAS

La sede donde se desarrolla el Programa de Conservación^[3] es el Museo y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas, creado por Orden de 9 de junio de 1980. Su denominación cambió a la de Museo Nacional de Arqueología Marítima por Orden



Figura 1.- Los cuatro edificios del MNAM-CNIAS en el Dique de Navidad (Cartagena, Murcia). Archivo Fotográfico Museo Nacional de Arqueología Subacuática.

de 21 de febrero de 1983, manteniéndose el citado Centro, con el que se creó conjuntamente en 1980 (MNAM-CNIAS). Las funciones de esta institución museística pionera en España^[4] son las de dirigir y coordinar la práctica de prospecciones y excavaciones arqueológicas submarinas, recuperación de hallazgos fortuitos, tratamiento, restauración y conservación de los materiales arqueológicos recuperados del fondo del mar, su inventario, valoración y estudio. Ubicado en el Dique de Navidad, el edificio del MNAM-CNIAS se creó en 1982, junto a otros tres que albergaban las colecciones del museo no expuestas y las dependencias destinadas a despachos del personal [Figura 1]

El MNAM-CNIAS es de titularidad estatal, pero la gestión del patrimonio arqueológico corresponde desde 1982^[5] a la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM) quien, en su estructura administrativa, atribuye a la Consejería de Educación y Cultura la competencia exclusiva de las actuaciones arqueológicas que se realizan en el territorio de la CARM (art. 10.1.14 de la Ley Orgánica 4/1982) y, en el ejercicio de dicha competencia, las potestades legislativa y reglamentaria y la función ejecutiva (Pérez Mateo 2012). A partir de entonces, cualquier material de procedencia subacuática que proceda de actuaciones arqueológicas en el territorio de la Región de Murcia es de titularidad autonómica. En 1987 se promulgó la normativa reguladora de las actuaciones arqueológicas en la Región de Murcia (Decreto 180/1987 de 26 de noviembre de 1987) con el fin no sólo de asegurar la conservación, mantenimiento y destino de los hallazgos sino también de dar la mayor difusión de los logros científicos alcanzados.

La cantidad y diversidad de patrimonio arqueológico subacuático (PAS) que conserva el MNAM-CNIAS enriquece sus posibilidades de comunicación, pero dificulta su tratamiento técnico, pues presenta unas necesidades específicas derivadas de su procedencia subacuática, sin olvidar que durante su período de uso también pueden haber sufrido deterioro, desgaste o contaminación, haciéndola más vulnerable. El estado de conservación está directamente relacionado con su naturaleza y procedencia, el medio subacuático, que determina su fragilidad, por factores de alteración físicos, químicos, biológicos y la acción antrópica, que alteran el equilibrio alcanzado con el medio circundante durante la intervención arqueológica, lo que Bergeron y Morin denominan “nuevas tensiones medioambientales” (2009: 149). No podemos olvidar otros factores como el estado de conservación resultante de los tratamientos aplicados con anterioridad o el envejecimiento natural. Estos problemas de conservación serían puestos de manifiesto en el *Libro Verde* (2010), que reitera la especial fragilidad de este PAS por su permanencia en medios húmedos o saturados de agua. Como señala UNESCO, los yacimientos subacuáticos son una valiosa fuente de información histórica ya que, debido a la falta de oxígeno, entre otros factores, se han conservado materiales que han desaparecido en los yacimientos terrestres, como los orgánicos (madera, cuero, textiles).

En el presente caso, el Programa de Conservación se singulariza por la procedencia subacuática de la colección, que articula el trabajo del conservador-restaurador en la doble vertiente del trabajo de gabinete y en el agua, como apoyo a los proyectos de actuación arqueológica subacuática. Las estrategias de conservación preventiva

planteadas *in situ* son determinantes^[6] para la preservación de los bienes una vez que han sido recuperados y llegan al museo. Newton y Cook (2018) señalan que la conservación del PAS comienza desde el momento que se decide extraer de un contexto en el que ha permanecido durante tiempo y se extiende durante décadas hasta que se expone o almacena. Un proyecto de actuación arqueológica subacuática debe contemplar la conservación “antes de”, “durante” y “después” de la intervención arqueológica para garantizar la conservación futura de los bienes. Una estrategia de conservación adecuada a las necesidades de los bienes y de su yacimiento asociado debe plantearse en paralelo a su documentación, puesto que la información que contienen determina la importancia de ese patrimonio en términos de su contexto histórico. Además, la conservación no finaliza una vez acabado el tratamiento, el almacenamiento o la exhibición del bien, sino que es un trabajo diario que implica establecer un programa de revisiones periódicas, el control de las condiciones ambientales y un seguimiento de su estado de conservación.

A continuación se desarrolla las líneas principales de actuación del Programa de Conservación durante el Proyecto Museográfico del MNAM-CNIAS.

— Líneas principales de actuación

- Control de las condiciones ambientales

La Temperatura (T^a) y Humedad Relativa (HR) han sido dos de los agentes de deterioro más estudiados desde el nacimiento de la conservación preventiva. Autores como Thomson señalaban el objetivo de alcanzar valores ideales y estables de 21°C y 50% HR (1978: 66-67) pero en las últimas décadas esa búsqueda de “rangos ideales” convertidos en axiomas inamovibles se ha sustituido por “rangos aceptables”, recomendaciones que permiten abordar de manera global las necesidades de conservación en un museo. *El Plan Nacional de Conservación Preventiva* señala que ya no se trata sólo de evaluar la peligrosidad del ambiente, sino de interrelacionarlo con la vulnerabilidad de la colección y definir el factor de riesgo. Cabe insistir en que no existen esos “rangos ideales” puesto que deben adaptarse a las necesidades de la colección, las características climáticas locales y la ubicación del museo. Las condiciones ambientales no se abordan de forma aislada, sino que implican el análisis del entorno inmediato de los bienes (salas de exposición y almacenes), que a su vez forma parte de otro ámbito más amplio (el edificio), definido por unas condiciones climáticas específicas^[7]. Los bienes culturales forman parte de un ecosistema (Herráez y Rodríguez 1989), porque el medio físico, los edificios y la colección están íntimamente relacionados.

La nueva sede se encuentra en el Paseo de Alfonso XII, frente al mar, por lo que la evolución anual de los parámetros de HR y T^a externos son similares a los que experimenta en el MNAM-CNIAS^[8]. Gracias al sistema de

control ambiental Hanwell, suministrado en 2004, se han analizado los datos de HR y T^a de los edificios del Dique de Navidad (y que en la nueva sede se instaló en 2007). La observación de los parámetros ambientales interiores desde un punto de vista de la dinámica ambiental, permite conocer el funcionamiento del espacio interior (Erhardt & Mecklenburg 1994; Magrini 2016). El objetivo era realizar un estudio ambiental que valorase las condiciones ambientales y designar los espacios más adecuados para el almacenamiento provisional de las piezas tratadas o en proceso de restauración. La monitorización y controles periódicos son indispensables teniendo en cuenta que estamos ante un PAS frágil pero estable con una adecuada conservación. El edificio ejercía, en ambas sedes, una función de primera barrera frente a los valores de T^a y HR del exterior, y los espacios de almacén de la nueva sede registraban datos más estables que los de la exposición permanente. Ello permitió definir el espacio en el que tendríamos que mejorar estos parámetros, con el empleo de vitrinas, agentes reguladores de humedad o, en el caso de la incidencia lumínica, estores o filtros UV. Atendiendo a la naturaleza del PAS y su estado de conservación establecimos unas recomendaciones sobre T^a , HR, iluminación, calidad ambiental, control biológico y manipulación para su futura exhibición. De esta manera subrayamos el valor de la planificación como estrategia para pronosticar situaciones futuras y facilitar la toma de decisiones para minimizar los procesos de deterioro. Debido a la naturaleza oscilante del clima, el proceso de monitorización se debe realizar para un período de varios años, lo que permite un conocimiento más detallado de la interacción de los materiales y los bienes con el clima interior (Wessberga & Vyhlídal 2019). Una recogida puntual de HR y T^a no es operativa si estos datos no se analizan ni se interpretan dentro de un proceso previo a la toma de decisiones que debe ser llevado a cabo por el conservador-restaurador en el marco de un contexto global fundamentado en un Plan de Conservación Preventiva.

- Estudio del estado de conservación de los bienes

Durante el Proyecto Museográfico se seleccionaron bienes para formar parte tanto de la exposición permanente como de la colección de reserva, ampliando de manera considerable la superficie expositiva en el nuevo museo [Tabla 1]. Su cronología abarcaba desde la época fenicia hasta el periodo tardoantiguo (ss. VII a.C.-VI d.C.), aunque también los había de épocas medieval y moderna.

La selección realizada permitió estimar la situación de partida para planificar los recursos necesarios y elaborar un cronograma de trabajo según el volumen de piezas. Cerca de mil bienes fueron objeto de estudio, en su estado de conservación, intervenciones anteriores y propuestas de tratamiento, para valorar su exhibición tanto en la exposición permanente como en la colección de reserva, una de las principales novedades de la nueva sede. Este tipo de iniciativas ofrecería una alternativa a uno de los grandes problemas que presentan los almacenes, ya puesto de

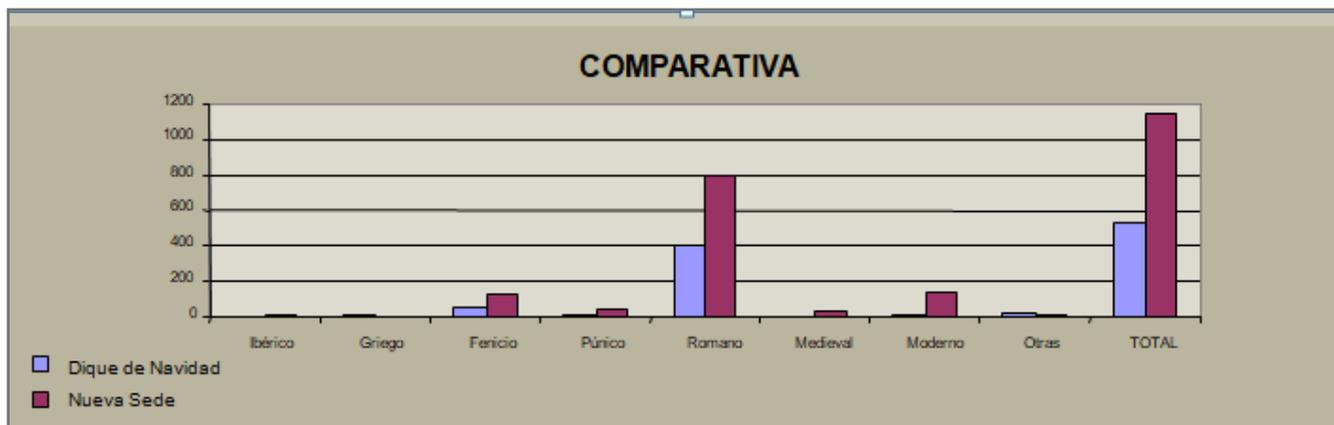


Tabla 1.- Volumen de colección expuesto en MNAM-CNIAS y en la nueva sede. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.- Almacén visitable en la nueva sede, que en la actualidad no se conserva. Archivo Fotográfico Museo Nacional de Arqueología Subacuática

manifiesto en los años 70 por Johnson y Horgan (1979: 9) al transformarse en almacén visitable. Los bienes se mostrarían en unos armarios con puertas acristaladas y bandejas extraíbles, que alternaban con armarios opacos, de menor altura y con cajones extraíbles que permitían mostrar bienes de mayor peso y volumen, dentro de un espacio con control de condiciones climáticas y de seguridad, y accesibles en términos de investigación y difusión [Figura 2].

El proceso de estudio generó una documentación gráfica y textual que se volcaría en DOMUS, el Sistema Integrado de Documentación y Gestión Museográfica desarrollado por el Ministerio de Cultura que nace a partir del informe “Normalización Documental de Museos” (1996). Esta aplicación informática dispone de un módulo “Conservación”, que permite generar expedientes de conservación [Tabla 2]:

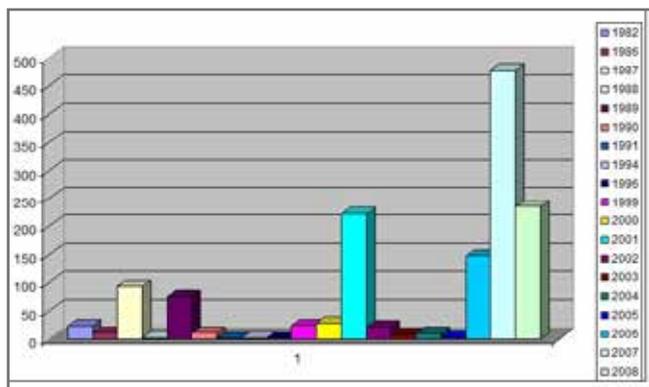


Tabla 2.- Expedientes de conservación en DOMUS (2007-2008). Archivo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática. Fuente: Elaboración propia

Estos expedientes vinculaban toda la documentación gráfica necesaria en informes, análisis y tratamientos. Esta aplicación, además, dispone de un módulo de operaciones con imágenes que permite capturar, editar y retocar para realizar el denominado “mapa” de daños, así como insertar “anotaciones”. Trabajar en pleno siglo XXI con informes de conservación en papel presenta estos inconvenientes, sin olvidar que no cumplen una función ecológica por el ahorro de papel:

- No permiten hacer una búsqueda por expedientes, por números de inventario o por materiales, lo que dificulta la trazabilidad documental de la colección.
- Su espacio físico es limitado, en paralelo al gasto de papel (sin olvidar el pegado manual de las fotografías a la propia ficha).
- No genera copias de seguridad automáticas, a no ser que fotocopiemos manualmente una a una, con el consecuente despilfarro de tiempo y recursos.
- Facilidad de extravío, con el peligro de pérdida de información y, en consecuencia, de seguimiento de las condiciones de conservación a medio y largo plazo. Una ficha en papel no puede estar en cualquier sitio del laboratorio sino en un lugar de almacenaje específico y ordenado correctamente.
- El papel de la ficha se degrada con el tiempo, unido a los materiales empleados (bolígrafo, rotulador, papel, fotografías, adhesivos o clips para fijarlas al papel).
- Ocupa un espacio físico que se incrementará en el tiempo dificultando cada vez más la búsqueda de tratamientos anteriores de piezas.
- No permite editar las fotografías, a no ser que utilicemos un programa de diseño y edición de imágenes, después del cual se imprimirá la imagen y se pegará manualmente a la ficha en papel.

Defendemos el empleo de un sistema que permita la gestión de la información del PAS de una manera ágil, eficaz y sencilla y que todo el personal del museo esté implicado en su uso. De esta manera conseguiremos detectar las necesidades que pueda tener dicho sistema para avanzar en su mejora.

Como señala el *Plan Nacional de Investigación en Conservación del Patrimonio Cultural* (2015) del IPCE, la investigación en conservación del patrimonio es compleja, por lo variado de la naturaleza, características y problemática de los bienes, y por su carácter dual, humanístico y científico, que requiere de un equipo multidisciplinar (2015: 6-7). No se puede llevar a cabo rápidamente ni de forma arbitraria, lo que requiere de sus propios plazos de tiempo. Aunque exista conciencia de la necesidad de conservar, hay aún problemas sin resolver y riesgos para el PAS que hacen imprescindible seguir avanzando en el conocimiento. Es necesaria la publicación de los resultados del tratamiento en revistas científicas para informar al resto de profesionales y generar un debate y consenso más allá de la atribución individual de éxitos de tratamiento que, no olvidemos, son el resultado de un trabajo de equipo. Las normas 35 y 36 del Anexo de la Convención UNESCO^[9] señalan que el trabajo y el dinero invertidos son en vano si un proyecto de tratamiento no proporciona a la sociedad datos claros, accesibles y fiables. La difusión es necesaria para involucrar a la sociedad en la protección de su patrimonio, pues el compromiso público presupone cierta conciencia de propiedad común. Las publicaciones científicas son el único modo de incrementar nuestro conocimiento y compartir las conclusiones de una investigación con la sociedad (normas 30 y 31 del Anexo de la Convención).

La investigación da lugar a una mejor conservación del PAS y a su vez tiene un impacto en el crecimiento económico, que revierte de nuevo en un aumento de los recursos en investigación. Un ejemplo es el Proyecto de Investigación para la conservación de las 53 defensas de elefante^[10] (completas y fragmentadas) del Bajo de la Campana (San Javier, Murcia), en el que trabaja Milagros Buendía^[11] desde 2009, en la actualidad en fase de desarrollo (2019) [Figura 3].

Durante el Proyecto Museográfico se ha contado con el apoyo de instituciones externas como el IPCE para la identificación de materiales cerámicos fenicios (2006), o el Servicio de Instrumentación Tecnológica de la Universidad Politécnica de Cartagena para la caracterización del marfil (2009). La colaboración con el IPCE se materializó, además, en el diagnóstico y tratamiento de las 13 defensas de elefante que ingresaron en 1979 en el MNAM-CNIAS, expuestas en vitrinas de escasa hermeticidad, en salas de exposición carentes de climatización, lo que provocó un agravamiento de su estado de conservación (Buendía 2019: 79), y ello hizo necesario su traslado a la sala climatizada del IPCE, construida expresamente para ellas.



Figura 3.- Impregnación con PEG 400 y glicerol y posterior secado controlado de tres fragmentos de defensas de elefante, en colaboración con Godfrey y Kasi. Laboratorio de Conservación-Restauración de ARQVA. Fotografía: Milagros Buendía (2021).

• Tipos de tratamiento

El *Libro Verde* señala que el proceso de conservación del PAS es largo y costoso y debe realizarse con una dotación presupuestaria estable. Dos terceras partes de las obras seleccionadas eran de naturaleza inorgánica (cerámica, lítico, metal, vidrio), entre los cuales la cerámica constituye el mayor porcentaje. Toda manipulación implica riesgo, por lo que hay que ceñirse a lo estrictamente necesario. Los tipos de tratamiento [Figura 4] se establecieron atendiendo al estado de conservación y naturaleza (orgánico, inorgánico, mixto), tratándose de forma individualizada:

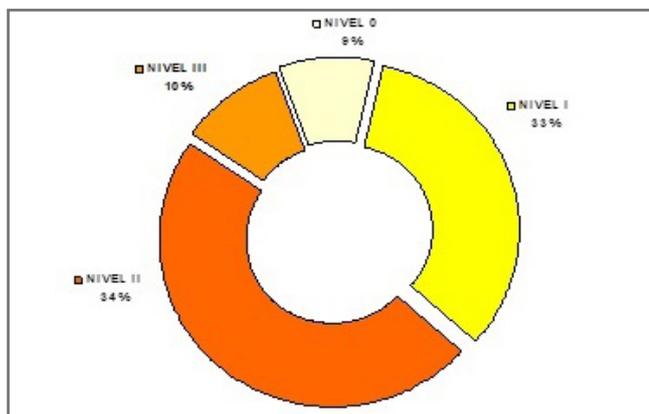


Figura 4.- Tipos de tratamiento. Fuente: Elaboración propia.

NIVEL 0. Limpieza superficial. Requiere la mínima intervención, una limpieza mecánica en seco o con medios húmedos, empleando productos de reconocida eficacia y realizando pruebas previas. Esta actuación nunca debe alterar los materiales constitutivos ni la estructura de los bienes.

NIVEL I y II. Limpieza mecánica o química con neutralización posterior, eliminación de sales solubles, si no había constancia de lo contrario, y consolidación sólo en los casos necesarios. Ésta se realizó con productos que no alteraban las propiedades físico-químicas de los materiales, ni su aspecto estético. Las piezas fragmentadas se adhirieron para facilitar su lectura e interpretación.

NIVEL III. Reintegración estructural y/o formal. Tratamiento integral que parte de una limpieza mecánica o química con neutralización posterior y eliminación sales solubles, consolidación sólo en los casos necesarios, adhesión, reconstrucción volumétrica y reintegración cromática. Sólo se recurrió a la reintegración cuando era necesaria para la estabilidad y se ciñe exclusivamente a los límites de la laguna, empleando materiales inocuos y reversibles, claramente discernibles del original a simple vista, como el ataífor (Inv. ESC-I/10.91/2/6329) [Figura 5].

Un aspecto que se tuvo en cuenta es el de las antiguas intervenciones en los bienes seleccionados. Como



Figura 5.- Ataifor. Fotografía: Milagros Buendía

señala Pasés, no es habitual encontrar protocolos a nivel internacional para decidir qué hacer ante una antigua intervención, más allá de recomendaciones generales que hacen referencia al valor cultural de la propia restauración (2014: 8-10). En el caso que aquí se presenta, se han documentado piezas con antiguas intervenciones (reintegraciones volumétricas y cromáticas) que se han conservado excepto en tres ocasiones, por ser un falso histórico o por comprometer la integridad del bien (art. 39.3 de la Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español).

Había bienes que, por su especial fragilidad o dimensiones, requerían un soporte individualizado, que se diseñó teniendo en cuenta su forma y minimizando su efecto gravitatorio. Estos soportes se realizaron con materiales químicamente inertes, no biodegradables, no higroscópicos y eran de fácil limpieza y mantenimiento. Es el caso por ejemplo del *lagynos* (Inv. ESC-I/29.02/2/5761) de la vitrina 13v2 [Figura 6], procedente de Escombreras (Cartagena, Murcia). Este tipo de recipientes cerámicos, una jarra con cuello largo y estrecho que no se ha conservado y cuerpo bicónico con carena alta, se relaciona con la importación de vino griego. Tan interesante como su peculiaridad morfológica es su repertorio decorativo en su superficie externa, estructurado en torno a frisos



Figura 6.- Lagynos. Fotografía: Milagros Buendía.

horizontales con temática dionisiaca, haciendo hincapié en su uso como servicio del vino en banquetes. Este es un ejemplo que muestra cómo en la actualidad está superado el debate sobre la reintegración volumétrica de faltantes, que no se pueden justificar por criterios estéticos debido al riesgo que entraña su manipulación y alteración del original.

También se han realizado intervenciones *in situ* en obras ya preparadas para su ubicación en la exposición permanente debido a su dificultad de manipulación por su volumen y peso, evitando así traslados y riesgos innecesarios.

La conservación del bien no acaba con la intervención. Es fundamental programar rutinas de control y seguimiento de las obras restauradas, así como su monitorización e incluirlas en el Plan de Conservación Preventiva y en el Plan de Protección de Colecciones ante Emergencias, íntimamente unido a aquél.

- Manipulación, embalaje y traslado a la nueva sede

La manipulación es uno de los principales riesgos para los bienes, en este caso, motivada por el desmontaje de la exposición permanente, iniciado a finales de 2006, que implica un cambio de ubicación para su tratamiento, su embalaje y su traslado a la nueva sede. La manipulación es un aspecto clave en la conservación preventiva y suele pasar desapercibida, como se refleja en la escasez de publicaciones en comparación con el control de las condiciones ambientales. El desmontaje fue complejo ya que por las características arquitectónicas del edificio no se disponía de sistema de elevación para poder trasladar los bienes de la segunda planta a la primera.

Una manipulación requiere el conocimiento de la naturaleza de los objetos y sus características para diseñar sistemas individualizados de embalaje para su transporte. Por ejemplo, las 13 defensas de elefante mencionadas anteriormente se trasladaron al IPCE en cajas a medida, cuyas características, parámetros de conservación y de seguridad fueron establecidas por las conservadoras-restauradoras del IPCE.

Los conservadores-restauradores diseñaron los embalajes de las piezas según sus necesidades específicas, reagrupándolas a su vez en cajas identificadas externamente, teniendo en cuenta el itinerario (la nueva sede se encontraba a 5,4 km. del MNAM-CNIAS), ya que cualquier movimiento suponía un riesgo potencial, sea en cortas o largas distancias. Asimismo acondicionaron el lugar en la nueva sede donde se almacenarían hasta su ubicación en la exposición permanente, y llevaron a cabo el control topográfico del traslado en una Hoja de Control de Movimientos que se volcaría en DOMUS. Una de las piezas más frágiles era el pecio Mazarrón 1, que se extrajo y depositó en el MNAM-CNIAS en 1995. Su tratamiento finalizó en 2008, año en el que se realizó un fotomosaico

para documentar cada uno de sus elementos. La estructura del pecio se apoyaba en un soporte de resina poliéster y fibra de vidrio^[12], utilizado durante la fase de desalación, impregnación parcial y liofilización y que también sería su soporte expositivo, previamente acondicionado. Cada fragmento se iba desmontando aprovechando antiguas fracturas y las que no las tenían, en función de su dimensión o si iban asociadas a otros fragmentos, se extraían de forma conjunta con la ayuda de soportes semi-rígidos, a la par que se numeraban de cara a su montaje definitivo para la exposición. En el caso de la quilla, su traslado se realizó de manera que la presión estuviese repartida y aplicada por igual en toda la superficie.

No podemos olvidar la planificación del traslado a la nueva sede de los materiales procedentes del yacimiento Escombreras (Cartagena, Murcia), cuya actuación fue resultado de una prospección realizada en el Puerto de Cartagena entre 1997 y 2002, en el marco del Estudio Ambiental de la ampliación del puerto de Escombreras realizado por la empresa AGPS. En este yacimiento se descubrieron cinco pecios romanos y uno medieval (Pinedo y Alonso 2004), cuyos materiales se depositaron en el MNAM-CNIAS el 21 de junio de 2007^[13] y constituyen el mayor porcentaje del PAS expuesto en la nueva sede.

- Recepción de materiales procedentes de actuaciones arqueológicas subacuáticas

Las actuaciones arqueológicas subacuáticas singularizan al museo, puesto que su colección no es cerrada, sino en constante crecimiento debido a la actividad de actuaciones arqueológicas, principalmente prospecciones y excavaciones en la Región de Murcia, que se llevan realizando desde los años 80 del siglo XX. Los conservadores-restauradores deben estar presentes desde el inicio de la actuación arqueológica, puesto que la Norma 24 del Anexo de la Convención menciona la necesidad de un programa de conservación. En consecuencia están obligados a planificar y aplicar un programa de conservación que proteja el PAS contra todo proceso de destrucción o deterioro. En este sentido queremos subrayar la labor pionera de Carmen Pérez de Andrés ya que inició un Programa de Conservación para materiales de procedencia subacuática, así como el proyecto de tratamiento de maderas arqueológicas saturadas de agua, en colaboración con el Instituto de Conservación y Restauración de Obras de Arte (ICROA).

El MNAM-CNIAS conserva un PAS de muy diferente naturaleza y tamaño, desde sedimentos de recipientes cerámicos hasta pecios. Su estado de conservación depende de los trabajos de conservación preventiva que se hayan implantado durante la actuación arqueológica subacuática, que exige un conocimiento exhaustivo de los factores de alteración del medio subacuático, de los propios materiales y estructuras en toda su extensión (Maarleveld, Guérin y Egger 2013:180). Durante el

Proyecto Museográfico apoyamos el trabajo de una serie de actuaciones arqueológicas en los yacimientos de Mazarrón (Murcia) y Bajo de la Campana que dieron como resultado la extracción de un volumen considerable de piezas. La primera actuación, entre noviembre de 2007 y febrero de 2008, consistió en la apertura de la estructura de protección del pecio Mazarrón 2 para su documentación y refuerzos estructurales puntuales, la recuperación de fragmentos de tracas desprendidos, o la extracción con moldes de silicona de un fragmento de cabo enrollado de esparto. La segunda fue resultado de un convenio de colaboración entre el Ministerio de Cultura español y el Instituto de Arqueología Náutica de la Universidad A&M de Tejas, campañas que duraron desde 2007 hasta 2011, y que permitieron documentar un cargamento adscrito a un pecio fenicio (Pinedo y Polzer 2011). La mayoría comprende tanto materias primas en bruto como bienes manufacturados [Tabla 3].

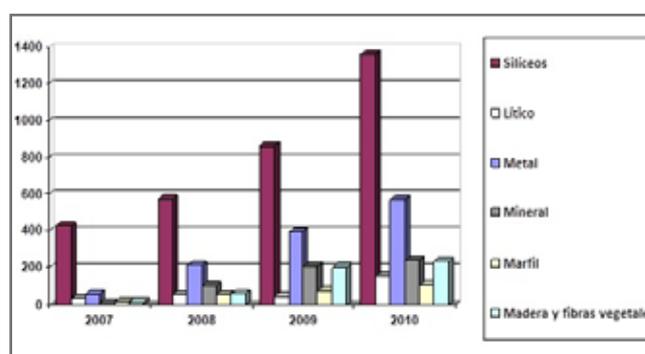


Tabla 3.- Ingreso de materiales del Bajo de la Campana. Fuente: Elaboración propia.

Tanto en el Bajo de la Campana, como en las intervenciones arqueológicas de años sucesivos como Punta de Algas (San Pedro del Pinatar, Murcia), elegido en 2011 como yacimiento escuela del Curso UNESCO-España de Arqueología Subacuática, pusimos en práctica el protocolo de recepción de PAS que actualizamos y normalizamos a partir de 2011 (Pérez Mateo, 2012) tomando como base el "Protocolo de entrega de materiales arqueológicos depositado en el Museo de Cádiz". El objetivo de dicho protocolo fue unificar los criterios de actuación entre los responsables de la actuación arqueológica y los técnicos del museo donde se van a depositar los materiales para que haya una trazabilidad en su control documental y subraya la necesidad de implementar la conservación en la extracción y traslado del PAS hasta el museo designado.

- Un nuevo Laboratorio de Conservación-Restauración

El Laboratorio de Conservación-Restauración del MNAM-CNIAS se ubicaba en la planta baja del edificio de oficinas del Dique de Navidad. Se distribuía en diferentes dependencias: un patio exterior con los tanques para la eliminación de sales solubles, la producción de agua destilada y un espacio de almacenamiento de productos

químicos, en el interior una zona para el tratamiento en húmedo o seco y un área anexa destinada a la investigación. Al tratarse de una edificación antigua que no fue concebida como laboratorio las necesidades a lo largo de sus más de 20 años de vida han ido configurando la existencia de espacios que se revelaron insuficientes para albergar el volumen de bienes, su tratamiento y control documental. Durante el Proyecto Museográfico se realizó una mejora de las instalaciones consistente en la redistribución de las áreas, lo que permitió ampliar las superficies de trabajo, gestionar la recepción de piezas y materiales, la dotación de equipamiento específico y la gestión de residuos generados por los productos de tratamiento.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, para la nueva sede se planteó la dotación de infraestructura para un nuevo laboratorio [Figura 7], ubicado en la planta 0, que diera respuesta a las necesidades de seguimiento o de intervenciones puntuales en el PAS de la exposición permanente o de almacenes, así como la supervisión en las tareas de limpieza de los elementos museográficos como vitrinas, maquetas, etc. siendo la conservación preventiva la línea prioritaria de actuación. Orientado hacia el norte y con entrada de luz natural, contempla un máximo de tres puestos de trabajo y cuenta, entre otras especificaciones, con un brazo de extracción localizada de gases y humos, un armario de seguridad para productos inflamables así como suministro de agua corriente y destilada.

La conservación-restauración debe llevarse a cabo en lugares apropiados dentro de los museos, por ello es esencial que el diseño de un laboratorio contemple desde medidas de seguridad, hasta espacios capaces de asumir un trabajo que en el caso del PAS se caracteriza por su especificidad y complejidad. Los riesgos que el laboratorio tiene asociados pueden afectar tanto a las personas y bienes de su entorno, por lo que se deben revisar periódicamente los requerimientos legislativos en materia de seguridad,



Figura 7.- Laboratorio de Conservación-Restauración en la nueva sede. Fotografía: Milagros Buendía

por ejemplo en lo que se refiere al suministro de Equipos de Protección Individual adecuados para cada trabajador del laboratorio, de armarios ignífugos para el almacenaje de productos tóxicos, las fuentes lava-ojos, situadas estratégicamente en vías naturales de evacuación, entre otros.

Conclusiones

La conservación del patrimonio debe ser una prioridad en la actividad cotidiana de los museos y ser llevada a cabo por los conservadores-restauradores, que trabajan de forma transversal con el resto de áreas en el marco de un Programa de Conservación. Este documento permite trazar unos objetivos sostenibles, basados en un establecimiento de prioridades, y evaluar sus resultados para detectar aquellos aspectos que se pueden mejorar o reforzar. La investigación del PAS, fundamentada en una serie de estudios y caracterización para establecer de forma objetiva y precisa el estado de conservación, permite avanzar en el conocimiento de las estrategias de conservación más adecuadas. Es importante insistir en el carácter multidisciplinar de la conservación y la colaboración con otras disciplinas tanto en la investigación (naturaleza, factores de alteración, procesos de deterioro del PAS) como en la definición de objetivos y la evaluación de los proyectos. Todo ello debe permitir compatibilizar las necesidades presentes sin comprometer las posibilidades de generaciones futuras de alcanzar sus logros. La sostenibilidad pasa por investigar técnicas y procesos respetuosos con el medio ambiente e incorporar criterios medioambientales a los tratamientos del PAS, cuya conservación se caracteriza por una complejidad que requiere de unos recursos específicos.

Notas

[1] El nuevo museo se inauguraría el 26 de noviembre de 2008 como Museo Nacional de Arqueología Subacuática ARQVA (Real Decreto 1508/2008, de 12 de septiembre).

[2] Las obras del nuevo museo se desarrollaron entre los años 2002 y 2007 como resultado de un concurso de Proyecto y Obra adjudicado por la Gerencia de Infraestructuras y Equipamientos de Cultura en 1999. Rafael Azuar Ruiz, director del museo entre 2006 y 2010, estableció la necesidad de un Programa de Conservación que trazara las principales líneas de actuación asignando su coordinación a Milagros Buendía, que forma parte de la plantilla de ARQVA desde 2005.

[3] Este programa fue un trabajo de equipo y contó con el apoyo de profesionales externos, como los conservadores-restauradores Izaskun Martínez Peris, Beatriz Blas Reigosa, Ruth Ors Díaz, Cristina Gómez Arroquia, Ana E. Carcelén Martínez y Leonor de la Colina Tejada, contratados a través del Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE) y de la Subdirección General de Museos Estatales, dependientes de la Dirección General de Bellas Artes del Ministerio de Cultura y Deporte.

[4] En 1992 se crea el Centro de Arqueología Subacuática de Cataluña, en 1996 el Centro de Arqueología Subacuática de la Comunidad Valenciana y en 1997 el Centro de Arqueología Subacuática de Cádiz, con la diferencia que la institución de Cartagena aúna el carácter de museo y centro nacional, siendo distintas las funciones.

[5] Fecha en la que se traspasan al gobierno autónomo las competencias en materia de arqueología, que tiene lugar en virtud de la Ley Orgánica 4/1982, de 9 de junio, de Estatuto de Autonomía de la Región de Murcia (BOE 19/06/1982), en relación con el Real Decreto 3.031/1983, de 21 de septiembre (BOE 8/12/1983).

[6] Este aspecto ya fue señalado por la conservadora-restauradora Carmen Pérez de Andrés, que forma parte de la plantilla del MNAM-CNIAS desde 1987 hasta 1991. Ella diseñaría el primer prototipo de liofilizador o cámara de vacío para ensayos con PEG (Antona y Martínez, 2019: 889), lo que muestra cómo, gracias a ella, el MNAM-CNIAS lleva trabajando con la liofilización desde los años 80 del siglo XX. Véase las publicaciones de Pérez de Andrés desde 1988, de las cuales sólo señalamos algunas por lo extenso de su producción.

[7] La ubicación de ARQVA, debajo del nivel del mar, justificada por las características de su entorno, es el principal riesgo para el edificio y sus colecciones. Pero fuera de este contexto pierde su razón de ser, porque el visitante se adentra penetrando en el interior de la tierra, en referencia al mundo subacuático, objeto de la exposición. Se trata, además, de un terreno de relleno, en un espacio donde antes estuvo el mar. Los materiales vuelven así a su lugar de procedencia, ahora bajo la capa de granito del viejo muelle portuario.

[8] En lugares de clima húmedo los riesgos de deterioro son especialmente significativos y deben ser minimizados recurriendo a estrategias acordes con su ubicación geográfica, con las particularidades de los bienes y los recursos económicos y humanos disponibles. Véase Maekawa, Beltran y Henry, 2015.

[9] Aprobada en París en 2001, ratificada por España en 2005 y entra en vigor en 2009, formando parte de nuestro ordenamiento jurídico (B.O.E de 5 de marzo de 2009), sólo por debajo de la Constitución Española y con rango superior a cualquier otro acto legislativo, estatal o autonómico, promulgado hasta o desde esa fecha.

[10] Se utiliza el término "defensa de elefante" para hacer referencia a los incisivos de estos grandes mamíferos, por esta razón no se usa "colmillo". Las 53 defensas (completas y fragmentadas) de elefante del Bajo de la Campana (San Javier, Murcia) forman parte del cargamento de un mercante de época fenicia. Se recuperaron en el transcurso de los cinco años de excavación sistemática sobre este yacimiento (Pinedo y Polzer, 2011).

[11] Contamos con la colaboración de Ian Godfrey y Kalle Kasi (Western Australian Museum, Fremantle, Australia); Rafael Latorre y Octavio López-Albors (Laboratorio de Plastinación de la Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia); M^a Teresa

Doménech Carbó (Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio, Universidad Politécnica de Valencia) o Juan Luis Arsuaga y Jaime Lira (Centro Mixto UCM-ISCIH de Evolución y Comportamiento Humanos); Federica Antonelli, Sandra Ricci y Barbara Davidde (Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro).

[12] Se utilizó un molde rígido y soporte flexible del casco interior de Mazarrón 1, combinando silicona y resina de poliéster (Zambrano, 1995: 2-20; 2000: 175-182). El conservador-restaurador Luis Carlos Zambrano lo diseñó y patentó en 1995, siendo el molde subacuático de mayores dimensiones realizado hasta entonces.

[13] Según consta en el Acta de recepción conservada en el Archivo del museo.

Referencias

ANTONA, V. y B. MARTÍNEZ (2019). "Carmen Pérez de Andrés (1956-2018). Pasión por la vida, pasión por los museos". En *150 años de una profesión: de anticuarios a conservadores*. Madrid: Ministerio de Cultura y Deporte, 887-894.

BERGERON, A. y K. MORIN (2009). "Conservación arqueológica y patrimonio marítimo ¡Un mismo combate!". *Canto rodado*, 4: 147-163.

BUENDÍA, M. (2019). "La conservación del marfil de procedencia subacuática". En *La recuperación del patrimonio arqueológico sumergido: problemas y propuestas: Phicaria, VII Encuentros Internacionales del Mediterráneo*, López, J. M. y Ros, M. M. (coords.). Universidad Popular de Mazarrón, 77-90.

ERHARDT, D. W. y M. F. MECKLENBURG (1994). "Relative Humidity Re-examined". In *Preventive conservation. Practice, Theory and Research*. London: IIC, 32-38.

Grupo de Trabajo de la SGME. Rallo, C. y Sanz, M. (coords.) (2005). "El papel del conservador-restaurador en el museo". *Museos.es*, 1: 60-65.

HERRÁEZ, J. A., y M. A. RODRÍGUEZ (1989). *Manual para el uso de aparatos y toma de datos de las condiciones ambientales en museos*. Madrid: Ministerio de Cultura.

HERMOSILLA, J. y M. FERNÁNDEZ (2020). "Museos y planificación estratégica". En *Planificación estratégica y modelo de gestión integral del patrimonio cultural. Aplicación a los territorios museos*, Hermosilla J. (dir.) Valencia: Tirant Humanidades.

HOFFMANN, P. (2013). *Conservation of Archaeological Ships and Boats-personal experiences*. London: Archetype Publications.

JOHNSON, E. V. y J. C. HORGAN (1979). "Museum collection

storage. Protection of the cultural heritage". En *Technical handbooks for museums and monuments*, 2. París: UNESCO.

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

MAGRINI, A. Y. (2016). "The energy performance improvement of historic buildings and their environmental sustainability assessment", *Journal Cultural Heritage*, 21: 834-841. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.03.012>

NEWTON, Ch y C. COOK (2018). "Caring for archaeological collections". <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/archaeological-collections.html> [consulta: 4/6/2021].

PASÍES, T. (2014). "Los trabajos de conservación-restauración en el laboratorio del Museo de Prehistoria de Valencia: problemática de las antiguas intervenciones", *ph investigación*, 3: 1-19.

PÉREZ DE ANDRÉS, C. (1988). *Conservación de materiales arqueológicos subacuáticos*. Madrid: Ministerio de Cultura.

- (1989). "Arqueología subacuática y conservación", *Revista de arqueología*, 93: 50-55.

- (1989). "La madera empapada. Su conservación", *Revista de arqueología*, 93: 56-59.

- (1991). "El proyecto de conservación de maderas del Museo Nacional de Arqueología Marítima de Cartagena". En *Actas del VII Congreso de Conservación de Bienes Culturales*. Vitoria: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 178-186.

PÉREZ MATEO, S. (2012). "La gestión de la documentación en el Museo Nacional de Arqueología Subacuática. ARQUA". En *Actas de las Jornadas de ARQUA 2011*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 149-157.

PINEDO, J., y M. E. POLZER (2012). "El yacimiento subacuático del Bajo de la Campana". En *Actas de las Jornadas de ARQUA 2011*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 90-95.

PINEDO, J. y D. ALONSO (2004). "El yacimiento submarino de la isla de Escombreras". En *Scombraria. La historia oculta bajo el Mar*. Murcia : Consejería de Educación y Cultura, 128-151.

VV. AA. (2005). *Criterios para la elaboración del Plan Museológico*. Madrid: Ministerio de Cultura.

WESSBERGA, M. y T. VYHLÍDAL (2019). "A model-based method to control temperature and humidity in intermittently heated massive historic buildings", *Building and Environment*, 159 (15): 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.024>

ZAMBRANO, L.C. (1995). Nuevo Procedimiento para la obtención de moldes subacuáticos, ES-2 119-649. España, Patente de invención: 9501565.1995.08.95.

- (2000). "Moldeo Subacuático de objetos arqueológicos", *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 32: 175-182.

- (2003). "Moldeados y reproducciones: problemática bajo el agua", *Monte Buciero*, 9: 351-370.

- (2016). *Desarrollo de técnicas de moldeo in situ con polímeros sintéticos aplicados en la conservación del patrimonio arqueológico subacuático*. [Tesis doctoral]. Universidad de Cádiz.

Autor/es



Soledad Pérez Mateo

soledad.perez.m@cultura.gob.es

Museo Nacional de Arqueología Subacuática
ARQUA (Cartagena)

<https://orcid.org/0000-0002-3364-107X>

Doctora en Historia del Arte por la Universidad de Murcia (2016). Primer Premio Nacional de la Licenciatura de Historia del Arte (2001). Ese año fue becada por el Museo Nacional del Prado (Madrid) y desde entonces su trayectoria profesional ha estado vinculada al ámbito de los museos de diferentes administraciones públicas (estatales y autonómicas). En el año 2005 ingresó por oposición nacional, convocada por el Ministerio de Cultura, en el Cuerpo Facultativo de Conservadores de Museos. Ha desempeñado su actividad profesional en diferentes museos, como el Museo Cerralbo (Madrid), el Museo del Greco (Toledo), el Museo Nacional del Romanticismo (Madrid) y el Museo Nacional de Arqueología Subacuática ARQUA (Cartagena), donde es responsable del Área de Documentación y Colecciones y se encarga, entre otras funciones, de la gestión documental de los materiales arqueológicos procedentes de excavaciones subacuáticas y, en colaboración con el Área de Conservación-Restauración, de la redacción del Plan de Conservación Preventiva. Por sus conocimientos del mercado del arte ha sido profesora del Curso de Tasación de Obras de Arte y Antigüedades, del Colegio Oficial de Doctores y Licenciados de Madrid. Por último, hay que señalar su trayectoria investigadora, vinculada al ámbito de la museología y el patrimonio cultural, con estudios sobre obras significativas de las colecciones de los diferentes museos del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte; el régimen jurídico de las formas de ingreso de los bienes culturales; la gestión de la información que generan los bienes culturales; el establecimiento de protocolos y procedimientos de normalización documental y, por último, las casas museo en España, objeto de su Tesis Doctoral.



Milagros Buendía Ortuño

milagros.buendia@cultura.gob.es

Museo Nacional de Arqueología Subacuática
ARQUA (Cartagena)

<https://orcid.org/0000-0001-6756-3711>

Milagros Buendía es Doctora en Conservación y Restauración de Bienes Culturales por la Universidad Politécnica de Valencia (2016). Desde su licenciatura en 1996, amplía su formación en conservación de materiales arqueológicos con distintas estancias tanto en España

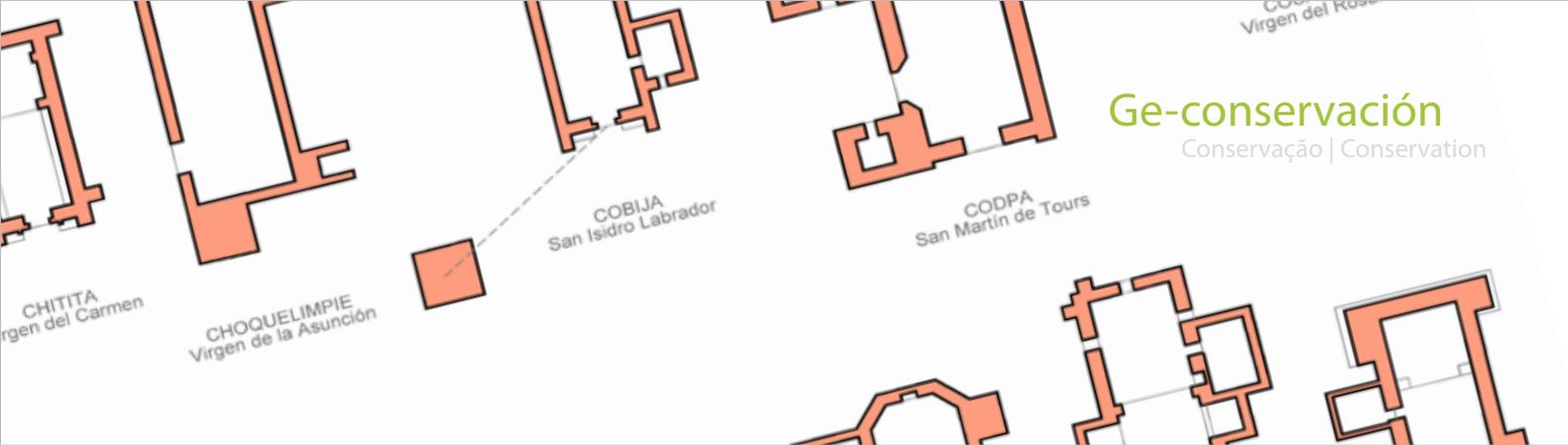
como en el extranjero (Italia, Rusia o Guatemala). Desde 2003 es conservadora-restauradora del Museo Nacional de Arqueología Subacuática de Cartagena, y de su trayectoria en el centro destacan la participación en el Proyecto Museográfico del museo en su nueva sede, la implementación del Programa de Conservación en intervenciones arqueológicas subacuáticas (Bajo de la Campana, Mazarrón o Punta de Algas) y la conservación y restauración del conjunto monetario para las exposiciones itinerantes de la Fragata Nuestra Señora de las Mercedes. En la actualidad se encuentra desarrollando el Plan de Conservación Preventiva en coordinación con el Área de Documentación y Colecciones, así como el Plan de Protección de Emergencia ante Colecciones.

Ha participado como docente en diversos cursos, Máster y Posgrados sobre conservación de patrimonio arqueológico. Es autora de artículos sobre la conservación de materiales arqueológicos de procedencia subacuática publicados en revistas especializadas y en diversos congresos y jornadas. Su labor de investigación se centra, desde 2007, en el marfil de procedencia subacuática del pecio fenicio del Bajo de la Campana, que ha sido objeto de su Tesis Doctoral.

Artículo enviado el 08/06/2021
Artículo aceptado el 06/03/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1015>



Cambios en la tipología de las pequeñas iglesias españolas en América por motivos estructurales: cómo se redujo la vulnerabilidad sísmica en el Chile actual

José-Carlos Salcedo Hernández

Resumen: No existían estudios en los que se hubiera constatado la existencia, en zonas de alta peligrosidad sísmica, de un importante número de estructuras históricas que hubieran soportado terremotos durante varios siglos. El presente estudio constata la existencia en la actualidad, en una región de Chile (región de Arica y Parinacota), de la práctica totalidad de las iglesias parroquiales que fueron construidas por la colonización española (en los siglos XVI y XVII). La permanencia de estas iglesias acredita que ha sido posible proporcionar cierta seguridad estructural sísmica a las construcciones del patrimonio histórico. El estudio histórico-constructivo que se presenta, aporta las claves de cómo hacerlo: inicialmente los españoles incorporaron a su sistema estructural europeo una serie de modificaciones claves para reducir la vulnerabilidad sísmica y, además, estas construcciones han llegado hasta el presente porque sus usuarios intervinieron en ellas manteniendo las estructuras originales con las mismas técnicas, sin el empleo de materiales o sistemas estructurales nuevos.

Palabras clave: Iglesias, terremotos, América, barroco andino, estructuras de fábrica, armaduras de madera

Changes in the typology of small spanish churches in America due to structural reasons: how seismic vulnerability was reduced in current Chile

Abstract: There are no studies that have verified the existence, in areas of high seismic danger, of a significant number of historic structures that have withstood earthquakes for several centuries. The present study confirms the existence today, in a region of current Chile (Arica and Parinacota region), of practically all the parish churches that were built by the Spanish colonization (in the 16th and 17th centuries). The permanence of these churches shows that it has been possible to provide some seismic structural safety to the buildings of the historical heritage. The historical-constructive study that is presented gives the keys on how to do it: initially the Spaniards incorporated a series of key modifications to their European structural system to reduce seismic vulnerability and, in addition, these constructions have reached the present day thanks to the intervention on them maintaining the original structures with the same techniques, without the use of new materials or structural systems.

Keywords: Churches, earthquakes, America, Andean baroque, masonry structures, wooden structures

Mudanças na tipologia das pequenas igrejas espanholas na América por razões estruturais: como a vulnerabilidade sísmica foi reduzida no Chile atual

Resumo: Não existem estudos que confirmem a existência, em áreas de alto risco sísmico, de um número significativo de estruturas históricas que resistiram a terremotos durante vários séculos. O presente estudo confirma a existência na atualidade, numa região do Chile (a região de Arica e Parinacota), de praticamente todas as igrejas paroquiais que foram construídas durante a colonização espanhola (nos séculos XVI e XVII). A permanência destas igrejas prova que tem sido possível proporcionar alguma segurança estrutural sísmica às construções do património histórico. O estudo histórico-constructivo aqui apresentado providencia as chaves de como fazê-lo: inicialmente, os espanhóis incorporaram uma série de modificações chave no seu sistema estrutural europeu para reduzir a vulnerabilidade sísmica e, além disso, estas construções sobreviveram até aos dias de hoje porque os seus utilizadores intervieram nelas, mantendo as estruturas originais com as mesmas técnicas, sem a utilização de novos materiais ou sistemas estruturais.

Palavras-chave: Igrejas, terremotos, América, barroco andino, estruturas de alvenaria, estruturas de madeira

Introducción

La línea de investigación de este equipo es la seguridad estructural de las construcciones del patrimonio histórico sin emplear materiales como el hormigón y el acero, que son extraños e incompatibles con las construcciones preexistentes, sino utilizando los materiales y sistemas de las construcciones históricas: masonry structures y madera. Se profundiza en el papel estructural fundamental de la Arquitectura y no se limita a las cuestiones formales y cosméticas.

Una base de trabajo la proporciona el estudio detallado de casos de las construcciones existentes, de sus materiales y sistemas constructivos, analizando su comportamiento estructural real (Fortea 2020).

Con un profundo conocimiento de los materiales y sistemas de la construcción histórica española (recordemos que el imperio español ha construido con *masonry structures* en varias regiones en cinco continentes, a diferencia de la colonización anglosajona que lo ha hecho fundamentalmente con madera), el equipo se centra en el caso en América, en una región de alta peligrosidad sísmica como la del Chile actual. De este país se conocía a nivel internacional alguna pequeña iglesia española patrimonial como la de San Pedro de Atacama [Figura 2], que simplemente por su aspecto exterior ya evidencia cambios con respecto a la estructura original europea (como sus grandes contrafuertes ataluzados). Era evidente que esta forma estructural servía para reducir la vulnerabilidad^[1] sísmica, pero no había sido estudiada en profundidad desde el punto de vista técnico-constructivo, sólo histórico-patrimonial.

San Pedro de Atacama era considerada, en el estado del arte, un caso aislado sin generalización. Se inicia el trabajo con la búsqueda en este país (territorio del Chile de hoy) de otras iglesias que pudieran pertenecer a su misma tipología.

Se consultó para ello el catálogo de monumentos históricos chilenos (Consejo 2013), realizado por la Administración a partir de la Ley de Patrimonio (Chile 1970), resultando que existe catalogado un elevado número de iglesias en la denominada XV Región o de Arica y Parinacota (marco de la muestra). Otros estudios que han resultado muy interesantes para esta investigación son las publicaciones de la Fundación Altiplano (Fundación 2010), que han documentado las recientes intervenciones de restauración llevadas a cabo en este patrimonio histórico.

El *objetivo* de este trabajo de investigación es constatar la permanencia en la actualidad de muchas estructuras de este tipo, que han llegado al presente desde la evangelización española de la zona en el siglo XVI, situadas todas ellas en una zona de alta peligrosidad sísmica y, comparando sus materiales y sistemas estructurales con las estructuras originales europeas, determinar

qué modificaciones formales fueron introducidas para reducir la vulnerabilidad sísmica, y comprobar si han sido objeto de intervenciones posteriores (con nuevos materiales) o no. Se analiza también la tipología arquitectónica obtenida.



Figura 1.- Situación de la región chilena de Arica y Parinacota, en la cordillera andina, en relación a la histórica "Ruta de la Plata" entre Potosí y el puerto de San Marcos de Arica.

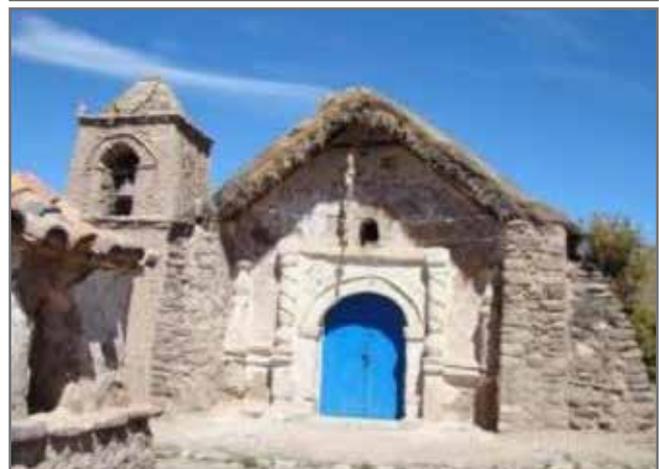
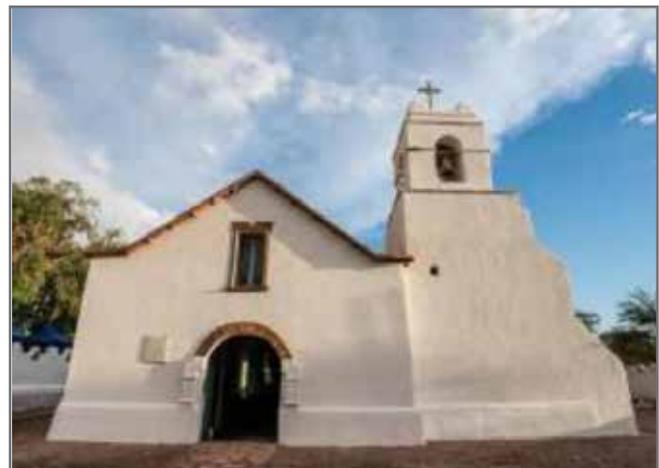


Figura 2.- Arriba, iglesia muy conocida de San Pedro de Atacama, que pertenece a un tipo funcional muy extendido por la evangelización española, pero con una serie de modificaciones claves sobre el sistema estructural original español. Abajo: Iglesia de Mulluri, de la misma tipología pero menos conocida. Como resultado de esta investigación se han localizado 30 iglesias que no habían sido estudiadas desde el punto de vista sísmico.

Área de estudio y metodología

El Altiplano andino o sudamericano es una planicie con una altitud promedio de más de 4.000 metros, perteneciente a tres países: Bolivia, Chile y Perú [véase Figura 1]. Consta que estaba habitado desde antiguo (5.000 a.C.), que a partir del 1.500 a.C. florece la cultura Tihuanaco y posteriormente la cultura Inca, hasta la hispanización de América.

Primero, con un Sistema de Información Geográfica, se han geolocalizado todas las iglesias declaradas Monumento Histórico Nacional en las tres regiones del Norte Grande chileno (Antofagasta, Tarapacá y Arica-Parinacota), partiendo del inventario del Ministerio de Obras Públicas de Chile (Consejo 2013).

Después, dentro del Altiplano, el estudio se ha centrado en la "XV Región" que, perteneciente hoy a Chile, comprende las dos provincias de Arica y Parinacota, ambas de la demarcación religiosa de la diócesis (obispado) de San Marcos de Arica, con superficie de 16.500 km². Es un área homogénea de estudio, de alta peligrosidad sísmica, en la que existe un número suficiente de realizaciones arquitectónicas, bien repartidas en el territorio, de una tipología semejante al sistema estructural histórico del que se quería conocer su comportamiento sísmico: pequeñas iglesias de estructura de fábrica y de madera. Se comprobó también que estas iglesias se encontraban menos alteradas y más uniformemente repartidas en el territorio, por lo que la investigación adquiere mayor validez científica.

Para seleccionar finalmente las 30 iglesias [Figura 3], se consultaron los estudios y publicaciones realizados por la Fundación del Altiplano (Guarda 2012), pues algunas de las iglesias no estaban en el inventario oficial, y hubo que descartar, además, tres de ellas (San Miguel en Azapa, San Martín de Tours en Chapoco y San Jerónimo en Poconchile), por ser iglesias nuevas o con grandes modificaciones sobre el sistema estructural original español.

Sobre las iglesias seleccionadas se ha elaborado un análisis gráfico de su sistema estructural (básicamente, dibujo en planta de su estructura portante y sección constructiva) y una identificación de sus materiales y sistemas estructurales.

Método de comparación: Finalmente, se ha comparado este sistema estructural en Chile con el original español, para identificar qué cambios estructurales habían sido introducidos para reducir la vulnerabilidad estructural sísmica.

Resultados

— Trabajo de geolocalización de las iglesias

La Tabla 1 expresa el resultado de situación y geolocalización realizado en las iglesias. Las 30 primeras corresponden a las que han sido finalmente objeto del estudio en la región de Arica y Parinacota.



Figura 3.- Situación de las 30 iglesias del Altiplano andino chileno que han sido objeto de la investigación

Se han indicado sus coordenadas geográficas UTM en el sistema geodésico WGS 84 y la altitud del emplazamiento, su ordenación territorial administrativa chilena (provincia, comuna y núcleo de población) y la jurisdicción eclesiástica. Se ha comprobado que la mayor parte de estos edificios permanecen en uso religioso en la actualidad.

Asimismo, se ha señalado el decreto de catalogación como Monumento Nacional en Chile. Las destacadas con un asterisco (*) se encuentran incluidas en el libro-catálogo realizado por la Fundación Altiplano (Guarda 2012), que ha servido en la metodología. Se ha completado con el mapa de la Figura 3, cuya información gráfica acredita la distribución uniforme dentro del territorio descrito. Nótese, con respecto a la altitud del emplazamiento:

- Sólo 2 de las 30 iglesias (el 6,67%) se encuentran entre 1.000 y 2.000 m de altitud.
- 6 iglesias (el 20,00%) se encuentran entre 2.000 y 3.000 m.
- 12 iglesias (el 40,00%) se encuentran entre 3.000 y 4.000 m.
- 10 iglesias (el 33,33%) se encuentran entre 4.000 y 5.000 m.

Estudio del contexto histórico patrimonial de las iglesias

Las construcciones estudiadas se encuentran en un territorio articulado por la histórica Ruta de la Plata, una de las rutas globales más importantes de la Edad Moderna, desde la Villa Rica Imperial de Potosí (minas de plata) hasta la ciudad-puerto de San Marcos de Arica. Allí se embarcaba la plata hasta la ciudad de Panamá, de ella por ruta nuevamente terrestre, atravesaba el istmo hasta Nombre de Dios (o Portobelo), y desde Portobelo nuevamente por mar atravesaba el Atlántico hasta Sevilla.

La región objeto de estudio, tras la Independencia, pasó a pertenecer a Bolivia. Sin embargo, en la Guerra del Pacífico,

IGLESIAS DEL ALTIPLANO CHILENO (ARICA-PARINACOTA)									
Nº	Núcleo de población	Nombre de la iglesia	Coordenadas UTM - Altitud DATUM WGS 84, huso 19S	Catálogo Monumento Nacional (y fecha)	Provincia	Comuna	Propiedad	Región	
1	Aico	San Antonio de Padua	19K - 451261 mE - 7920903 mS - 3530m	D. nº 451 (2012)	Arica	Camarones	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
2	Airo	Santiago Apóstol	19K - 430293 mE - 8041714 mS - 4301m	D. nº 294 (2016)	Parinacota	General Lagos	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
3	Belén	Santiago Apóstol	19K - 445612 mE - 7957963 mS - 3269m	D. nº 451 (2012)	Parinacota	Putre	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
4	Belén	Virgen Candelaria	19K - 445689 mE - 7958010 mS - 3278m	D. nº 451 (2012)	Parinacota	Putre	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
5	Caquena	Santa Rosa de Lima	19K - 478776 mE - 8003716 mS - 4402m	D. nº 294 (2016)	Parinacota	Putre	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
6	Chitita	Virgen del Carmen	19K - 478204 mE - 7918128 mS - 2200m	D. nº 331 (2015)	Arica	Camarones	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
7	Choquelimpie	Virgen de la Asunción	19K - 471925 mE - 7975260 mS - 4619m	D. nº 74 (2017)	Parinacota	Putre	Obispado de Arica, en ruinas	Arica y Parinacota	
8	Cobja	San Isidro Labrador	19K - 438561 mE - 7927859 mS - 3107m	D. nº 451 (2012)	Arica	Camarones	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
9	Codpa	San Martín de Tours	19K - 421632 mE - 7917417 mS - 1872m	D. nº 331 (2015)	Arica	Camarones	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
10	Cosapilla	Virgen del Rosario	19K - 456237 mE - 8035456 mS - 4243m	D. nº 294 (2016)	Parinacota	General Lagos	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
11	Esquiña	San Pedro	19K - 444196 mE - 7906187 mS - 2183m	D. nº 331 (2015)	Arica	Camarones	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
12	Guacollo	Santa Rosa de Lima	19K - 463343 mE - 8036407 mS - 4107 m	D. nº 166 (2016)	Parinacota	General Lagos	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
13	Guaillatre	Inmaculada Concepción	19K - 483753 mE - 7954674 mS - 4242 m	D. nº 451 (2012)	Parinacota	Putre	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
14	Guafacagua	San Pedro	19K - 425344 mE - 7919039 mS - 2023 m	D. nº 3365 (2018)	Arica	Camarones	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
15	Livilcar	San Bartolomé	19K - 425534 mE - 7954487 mS - 1922m	D. nº 451 (2012)	Arica	Arica	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
16	Mulluri	Virgen de la Natividad (nueva)	19K - 482338 mE - 7897675 mS - 4123m	D. nº 1778 (2005)	Arica	Camarones	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
17	Pachama	San Andrés Apóstol	19K - 444167 mE - 7962288 mS - 3429m	D. nº 451 (2012)	Parinacota	Putre	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
18	Pachica	San José	19K - 435468 mE - 7907654 mS - 2239m	D. nº 331 (2015)	Arica	Camarones	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
19	Parcohaylla	San José	19K - 477579 mE - 7912644 mS - 3988m	D. nº 3365 (2008)	Arica	Camarones	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
20	Parinacota	Virgen de la Natividad	19K - 471647 mE - 7987462 mS - 4428m	D. nº 1158 (1979)	Parinacota	Putre	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
21	Putani	Virgen Inmaculada Concepción	19K - 442645 mE - 8040045 mS - 4342m	D. nº 166 (2016)	Parinacota	General Lagos	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
22	Putre	Virgen de la Asunción	19K - 440849 mE - 7988058 mS - 3561m	D. nº 331 (2015)	Parinacota	Putre	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
23	Saguara	Advocación desconocida	19K - 447834 mE - 7910592 mS - 3082m	D. nº 3365 (2008)	Arica	Camarones	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
24	Socoroma	San Francisco de Asís	19K - 436327 mE - 7980592 mS - 3084m	D. nº 1902 (2005)	Parinacota	Putre	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
25	Sucuna	San Antonio de Padua	19K - 453251 mE - 7916418 mS - 3340m	D. nº 294 (2016)	Arica	Camarones	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
26	Tacora	Virgen del Carmen	19K - 423137 mE - 8034857 mS - 4094m	D. nº 294 (2016)	Parinacota	General Lagos	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
27	Ticnámbar (viejo)	Virgen de la Asunción	19K - 448205 mE - 7944914 mS - 3234m	D. nº 451 (2012)	Parinacota	Putre	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
28	Timalchaca	Virgen de los Remedios	19K - 456065 mE - 7934426 mS - 3899m	D. nº 294 (2016)	Parinacota	Putre	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
29	Timar	San Juan Bautista	19K - 427157 mE - 7926692 mS - 2382m	D. nº 77 (2017)	Arica	Camarones	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
30	Tuliapalca	Advocación desconocida	19K - 443744 mE - 7923954 mS - 3329m	D. nº 3365 (2008)	Arica	Camarones	Obispado de Arica, uso religioso	Arica y Parinacota	
31	Azapa	San Miguel	19K - 375576 mE - 7952192 mS - 269m	D. nº 331 (2015)	Arica	Arica	Obispado de Arica	Arica y Parinacota	
32	Caraguano	Advocación desconocida	19 K - 520656 mE - 7872183 mS - 3919m	D. nº 18 (2006)	Tamarugal	Colchane	Obispado de Iquique	Tarapacá	
33	Chapicollo	Advocación desconocida	19 K - 519468 mE - 7872902 mS - 3935m	No consta	Tamarugal	Colchane	Obispado de Iquique	Tarapacá	
34	Chapoco	San Martín de Tours	19K - 440018 mE - 8041432 mS - 4380m	D. nº 76 (2017)	Parinacota	General Lagos	Obispado de Arica	Arica y Parinacota	
35	Isluga	Advocación desconocida	19 K - 529177 mE - 7871342 mS - 3812m	D. nº 680 (1975)	Tamarugal	Colchane	Obispado de Iquique	Tarapacá	
36	Llocuoma	De Mauque	19 K - 512523 mE - 7863650 mS - 4015m	D. nº 18 (2006)	Tamarugal	Colchane	Obispado de Iquique	Tarapacá	
37	Mocha	Advocación desconocida	19 K - 471069 mE - 7809175 mS - 2149m	1951	Tamarugal	Huara	Obispado de Iquique	Tarapacá	
38	Nama	Advocación desconocida	19 K - 456512 mE - 7878151 mS - 3004m	D. nº 1778 (2005)	Tamarugal	Camiña	Obispado de Iquique	Tarapacá	
39	Poconchile	San Jerónimo	19K - 387423 mE - 7959404 mS - 576m	D. nº 331 (2015)	Arica	Arica	Obispado de Arica	Arica y Parinacota	

Tabla 1.- Geolocalización de iglesias del Altiplano chileno. Las 30 primeras son objeto de estudio.

también conocida como guerra del Guano y del Salitre (1879-1884), fue conquistada por Chile, ganándola a Bolivia (aliada con Perú). De esta manera Chile movió su frontera al Norte hasta el importante puerto de Arica y cortó la salida al mar de Bolivia. La actual delimitación fronteriza es fruto de un tratado^[2] de 1904.

Estas iglesias objeto de estudio, que evidencian el sincretismo religioso y cultural denominado "barroco mestizo" (Pino 1987) se encuentran hoy en su mayor parte en lo que fueron poblados incas en los que dos evangelizadores^[3] españoles (Gazulla 1918) celebraron las primeras misas cristianas, a cuyas iglesias adjudicaron el nombre del santoral del día: en Tarapacá el día de San Lorenzo, en Arica el día de San Marcos, en Azapa el día de San Miguel, etc. Cinco siglos después, muchas iglesias y poblados conservan todavía estos nombres.

La principal ciudad de la región es Arica, fundada^[4] en 1541 por el conquistador español, natural de Trujillo y vecino de Arequipa, Lucas Martínez Vegazo (1510-1567) que recibió el título de ciudad por Felipe II en 1575. Francisco Pizarro había concedido a Martínez Vegazo la encomienda de la gran extensión de tierra que comprende las provincias actuales de Moquegua y Tacna (en Perú) y las regiones chilenas actuales de Arica y Parinacota, y de Tarapacá. La zona litoral se pobló enseguida por la fertilidad del suelo y su buen clima, pero los españoles no se quedaron en el litoral, se adentraron en el continente para cumplir su misión de evangelización.

El fraile Vázquez de Espinosa (Marsilli 2010) dice haber presenciado en 1618 un temblor en la ciudad de San Marcos de Arica en donde "el mar se retiró y habría salido fuera de sus límites llevándose toda una acera de casas", también narra que las iglesias de la zona se hallaban en aquella fecha en muy mal estado. La misión de los frailes franciscanos, mercedarios y jesuitas evangelizadores, debió ser bastante difícil por la escasez de misioneros, la geografía desértica y la altitud, lo que favoreció la mezcla de las creencias indígenas y las cristianas, y la existencia de representaciones iconográficas prehispánicas de las que el fraile dejó relato.

Las minas de plata del cerro de Potosí habían sido descubiertas en 1545 por los españoles, pero la extracción de mineral fue insignificante hasta que Bartolomé de Medina implantó en 1574 una nueva técnica de amalgama inventada en España, que empleaba mercurio (Silvestre 2019) y entonces El Potosí se convirtió en el yacimiento de plata más importante del Imperio. Inicialmente el mercurio (azogue) se traía desde Huancavélica (Perú), pero más tarde se trajo de la Península Ibérica desde Almadén (Ciudad Real). Si sumamos a la Ruta de la Plata el recorrido para traer hasta América el mercurio de Almadén (la "Ruta del Mercurio: Almadén e Idrija" fue declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 2012) y que las monedas de plata acuñadas hicieron posible el comercio con China (que por falta de metal había tenido que inventar el papel

moneda), entonces valoraremos la importancia de esta ruta, exponente de la primera globalización. Es decir, que estas iglesias del altiplano están articuladas por una de las rutas históricas más importantes del planeta.

Las iglesias del altiplano andino chileno han sido protegidas por Chile como "parte de un conjunto mayor denominado genéricamente Iglesias del Altiplano, reconocido como tal en la Lista Tentativa de Bienes Culturales para ser incluidas en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO, definida en el año 1998, debido a sus valores culturales, históricos, arquitectónicos y artísticos" (Consejo 2013), porque estas iglesias "son representativas de las formas de evangelización temprana ocurrida en la región andina, exponentes de una realidad transfronteriza que abarca Bolivia, Argentina y Chile", que "testimonian el encuentro temprano entre las culturas originarias que ocuparon el territorio desde hace miles de años y los colonizadores españoles, con una época de auge posterior asociada a la mina de plata de Potosí..." (Consejo 2013).

Peligrosidad sísmica del altiplano chileno

Por su situación, próxima a la zona de contacto entre placas tectónicas muy activas (subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa continental Sudamericana), Chile es considerado uno de los países de mayor peligrosidad sísmica del mundo (Madariaga 1998). Se han producido episodios como el megaterremoto de Valdivia, el 22 de mayo de 1960 (Cifuentes 1989), considerado el terremoto instrumental más potente registrado en la historia y que, con epicentro en la región de la Araucanía (Sur de Chile), tuvo una magnitud (Cifuentes 1989) de 9,5 en la escala sismológica de magnitud de momento (Cereceda 2011).

En concreto, la región de estudio de Arica y Parinacota se encuentra también afectada por otra placa tectónica, la denominada placa del Altiplano, relacionada con la placa Sudamericana, que se encuentra entre los actuales países de Perú (Sur), Bolivia (Oeste) y Norte de Chile. Según los mapas de peligrosidad sísmica [Figura 4] en esta zona se prevé una aceleración sísmica de 0,5g (en la zona costera) a 0,35g (en la altiplanicie).

Para mayor detalle de estudio, se han consultado los datos del USGS, según los cuales en esta región de Arica y Parinacota se han registrado desde 1934, 13 terremotos de más de M 6.0, siendo el de 1987 el más intenso desde que se tienen registros. En este mismo período de los últimos 87 años se han registrado 73 terremotos de más de M 5.0. [Véanse Tabla 2 y Figura 5].

Contra la creencia de que en Chile la ocurrencia de terremotos se encuentra sólo en la costa (zona más próxima a la línea de contacto de la placa de Nazca), se comprueba que esta región tiene otra concurrencia distinta (Delouis 2007) ligada al Altiplano (a la placa del Altiplano), como se aprecia en la Tabla 2 y en el mapa de la Figura 5.

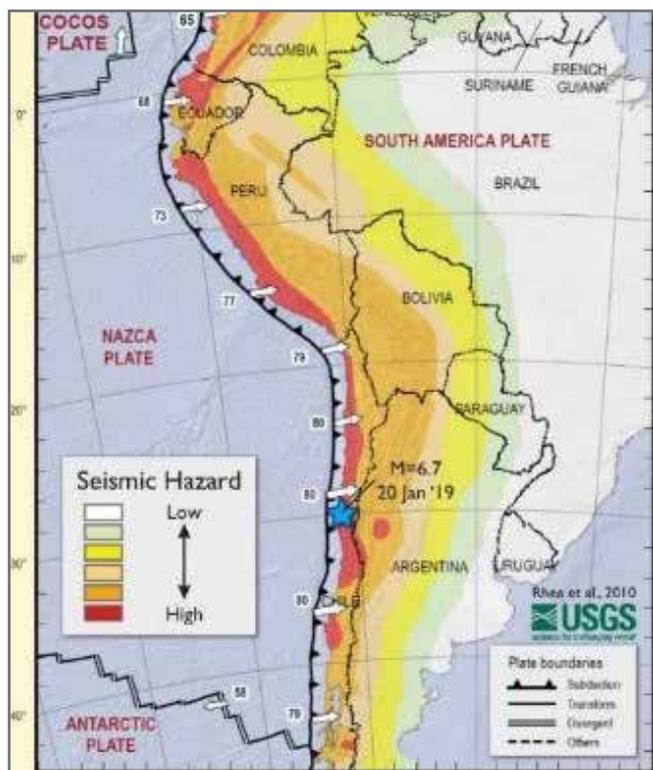


Figura 4.- Situación de la zona de estudio en el mapa de Seismic Hazard and Plate Boundaries, de Rhea et al, 2010. USGS.

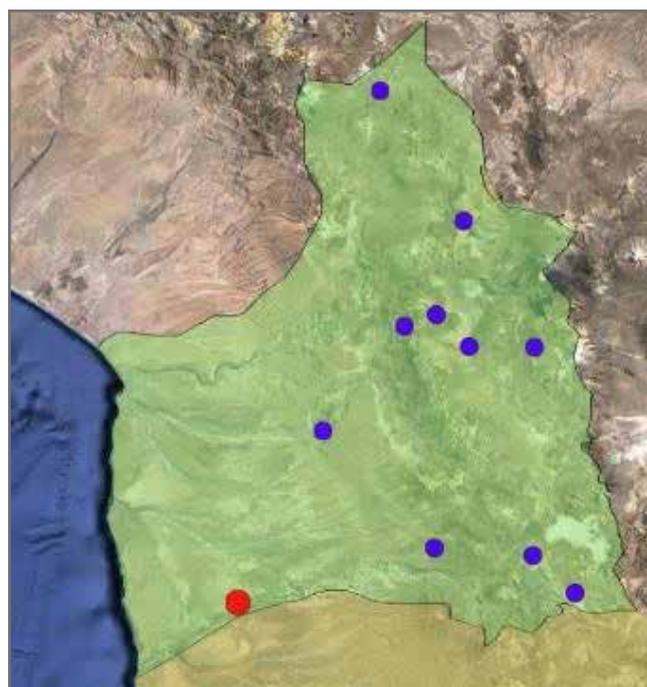


Figura 5.- Mapa de situación de los epicentros de los terremotos de más de M 6.0 registrados en la región de Arica y Parinacota desde 1934. Fuente: elaboración propia a partir de datos del USGS

Grado	Fecha	Magnitud	Geolocalización - altitud
VII	1987-08-08	M 7.2	19.022°S 69.991°W - 69,7 Km
VI	1983-02-25	M 6.9	18.268°S 69.438°W - 146,0 Km
V	1999-11-30	M 6.6	18.901°S 69.171°W - 126.1 Km
VII	1934-12-04	M 6.5	19.230°S 69.706°W - 35,0 Km
VI	2015-03-23	M 6.4	18.353°S 69.166°W - 130.0 Km
V	2011-03-06	M 6.3	18.021°S 69.362°W - 118,0 Km
V	2017-10-10	M 6.3	18.572°S 69.753°W - 85,0 Km
V	2018-01-21	M 6.3	18.572°S 69.753°W - 116.0 Km
IV	1994-12-12	M 6.3	17.477°S 69.598°W - 148.2 Km
V	2012-05-14	M 6.2	17.678°S 69.591°W - 105.9 Km
V	1997-04-01	M 6.2	18.351°S 69.347°W - 115.6 Km
V	1997-04-01	M 6.2	18.298°S 69.526°W - 113.8 Km
IV	1985-05-18	M 6.0	19.000°S 69.053°W - 109.8 Km

Tabla 2.- Terremotos de más de M 6.0 ocurridos en la región en los últimos 87 años.

Modelos españoles para comparar

Para aplicar el método de comparación a las estructuras ha sido necesario buscar y encontrar una tipología en la España actual que sea funcionalmente similar (iglesia de una única nave) —condición 1ª— con el mismo sistema estructural general de muros y armadura de madera de cubierta —condición 2ª— y de una época lo más próxima posible a los siglos XVI-XVII —condición 3ª—.

El sistema estructural a base de muros y armadura de cubierta era conocido en la Península Ibérica al menos desde la arquitectura islámica (siglos VIII al XV), el románico (s. XI al XIII) y el mudéjar (s. XII al XVI):

Las estructuras de madera para las cubiertas a base de pares alcanzaron su máximo esplendor e importancia artística en realizaciones como la catedral de Teruel (armadura mudéjar de pares, hilera, nudillo cuajado o almizate y estructura de tirantes o asiento, del siglo XIII) o la sinagoga del Tránsito en Toledo (armadura del mismo tipo del siglo XIV).

Pero además encontramos en la Península muchas pequeñas iglesias y ermitas en áreas territoriales o entornos urbanos, como la iglesia románica de Santiago de los Caballeros en Zamora (armadura de pares e hilera atirantados, del siglo XI), iglesias en pequeños pueblos como la iglesia de San Andrés Apóstol (de Mingo 2021) en Cubas de La Sagra, Madrid (armadura mudéjar de pares, hilera, nudillo cuajado y tirantes del siglo XIV), capillas de palacios y castillos

como la ermita de La Magdalena en la granja de Mirabel en Guadalupe, Cáceres (techumbre mudéjar octogonal de pares y nudillo sobre asiento con cuadrales), etc, que cuentan con una única nave y con sistema estructural de armaduras de pares de madera sobre estructura portante de muros de fábrica.

Hecho este estudio, se determinó que las iglesias peninsulares con armadura de madera son mucho más antiguas. En cuanto a la tipología general de iglesias, las contemporáneas más estudiadas en los libros de Historia del Arte, construidas tanto en la Península Ibérica como en otras zonas de América en las ciudades principales, eran de más de una nave, lo que implicaba columnas interiores separando naves, a veces con arcos o sistemas abovedados, etc, es decir, sistemas estructurales no comparables.

Pero se encontró una tipología homogénea sí comparable por tamaño, sistema y fecha: Las pequeñas iglesias de las Islas Canarias. Las iglesias de Canarias^[5] se realizaron casi a la vez que las americanas, porque la colonización de las islas (en el siglo XVI) fue paralela a la de América y de hecho, por su situación, las Islas Canarias fueron utilizadas como base para la hispanización de América, y convertidas en lugar de ensayo de muchas tecnologías reproducidas en el Nuevo Mundo, con exportación de mano de obra, etc.

Descartadas las grandes estructuras, las pequeñas iglesias y ermitas canarias que han sido seleccionadas para ser comparadas con las del Altiplano Andino chileno, por ser todas ellas pequeñas de una nave, con armadura de madera y de las mismas fechas (del mismo estado de la técnica), son^[6]:

-La ermita de Las Angustias, en los Llanos de Aridane, La Palma (siglo XVI). UTM 28R - 213136 mE - 3174019 mN - 78 m.

-La iglesia de Nuestra Señora de Candelaria, en Tifarite, La Palma (1686). UTM 28R - 211303 mE 3179560 mN - 660 m.
-La iglesia de Nuestra Señora del Rosario, en Barlovento, La Palma (1581). UTM 28R - 226465 mE 3192354 mN - 548 m.

-La ermita de San Juan Bautista, en San Cristóbal de La Laguna, Tenerife (siglo XVI). UTM 28R - 370867 mE - 3151655 mN - 546 m.

-La iglesia de San Lázaro, en San Cristóbal de La Laguna, Tenerife (siglo XVI). UTM 28R - 369590 mE - 31521458 mN - 583 m

-La ermita de Nuestra Señora de la Peña, en Vega del Río Palmas, Fuerteventura (siglo XVIII). UTM 28R - 590963 mE - 3141091 mN. 285 m

-La ermita de la Virgen de los Reyes, en El Hierro (1577). UTM 27 R - 783875 mE - 3070628 mN - 699 m.

Las imágenes de las Figuras 6 y 7 muestran algunas de estas iglesias, exterior e interiormente.

La aceleración sísmica prevista en las islas Canarias (PSA), según el Mapa de Peligrosidad Sísmica de España del IGN (revisión de octubre de 2015), es de 0,07g para Tenerife, 0,06g para Gran Canaria, La Palma, La Gomera y El Hierro, y 0,03g para Fuerteventura y Lanzarote. Es decir, muy inferior a la de Arica y Parinacota en Chile.

Descripción gráfica de las iglesias chilenas objeto de estudio

La Figura 8 es un mosaico de fotografías con cada una de las iglesias chilenas objeto de estudio. En las Figuras 9 y 10 se representan las plantas de todas estas iglesias.



Figura 6.- Ejemplo de pequeña iglesia de las Islas Canarias realizada con estructura de fábrica y entramado de madera. Iglesia del Rosario en la localidad de Barlovento, en la isla de La Palma. Planta con 9 m de ancho y 35 m de largo.

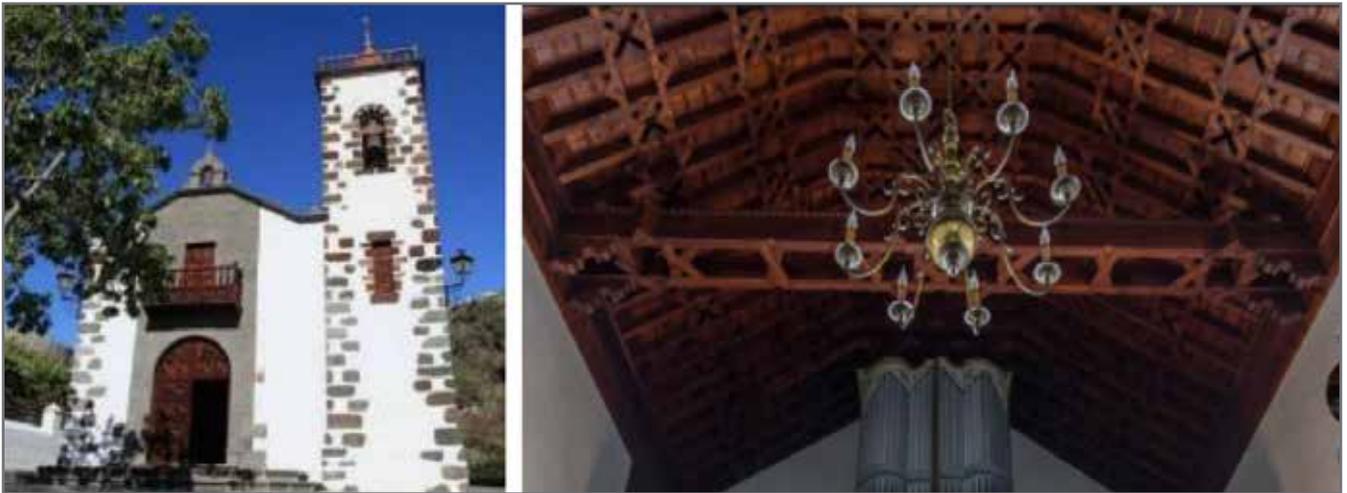


Figura 7.- Ejemplo de pequeña iglesia de las Islas Canarias realizada con fábrica y madera. Ermita de Las Angustias, en los Llanos de Aridane, isla de La Palma. Fotografía de Frank Vincenti.

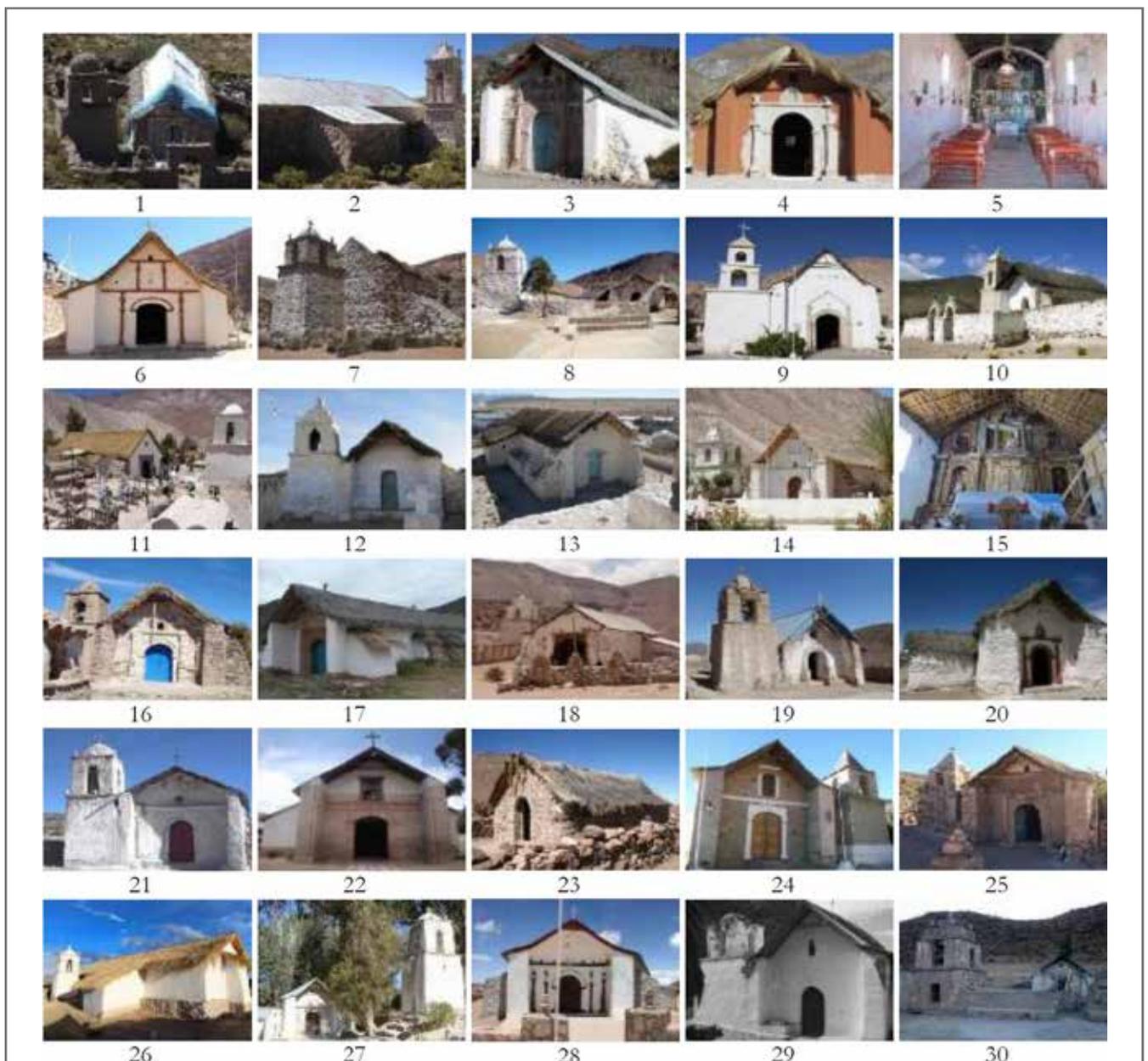


Figura 8.- Mosaico de fotografías de las 30 iglesias objeto de estudio. Fuente: inventario del Ministerio de Obras Públicas (Consejo 2013).

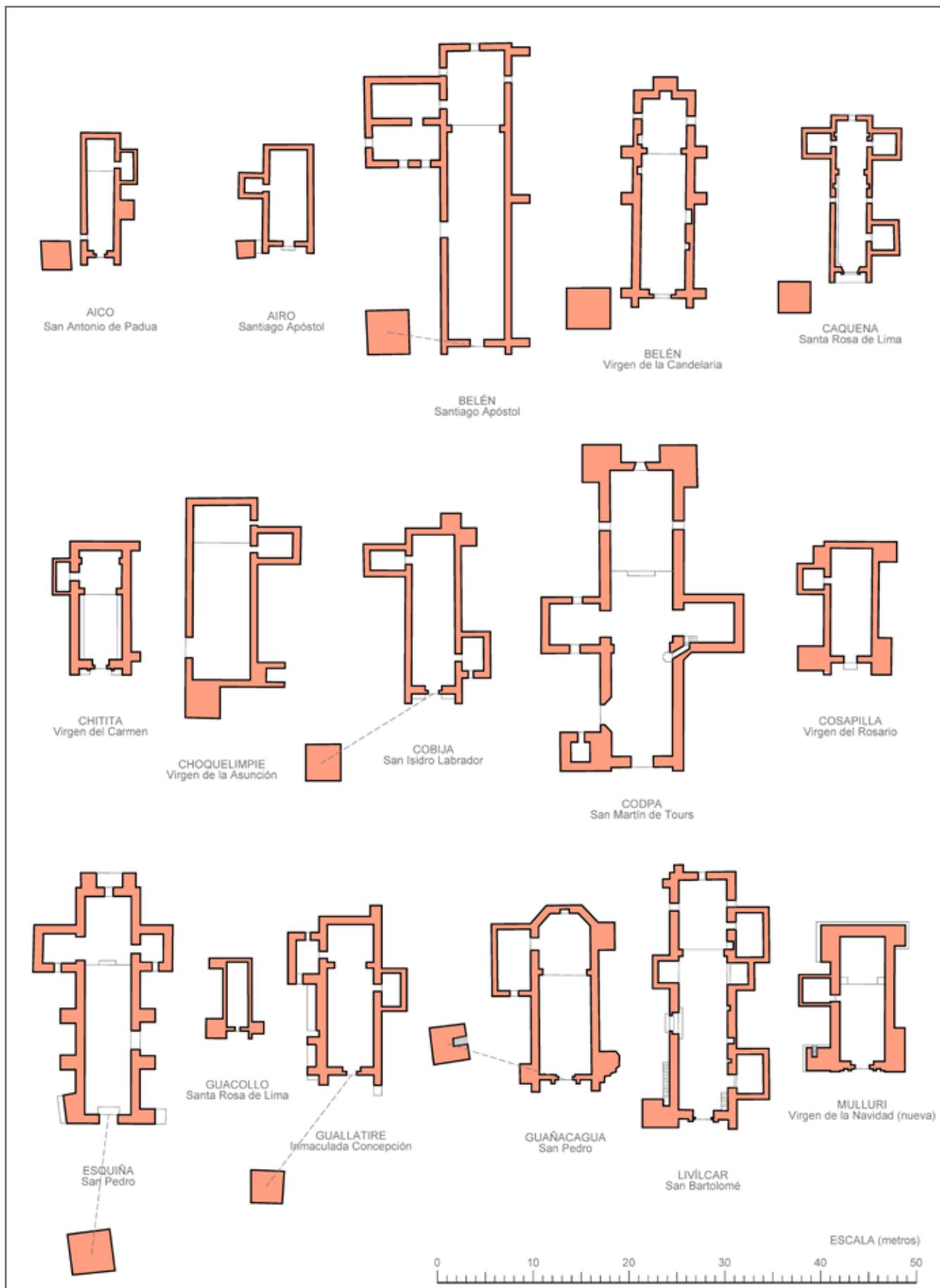


Figura 9.- Plano de estudio comparado de las plantas de las iglesias del altiplano en las regiones de Arica y Parinacota (1 de 2).

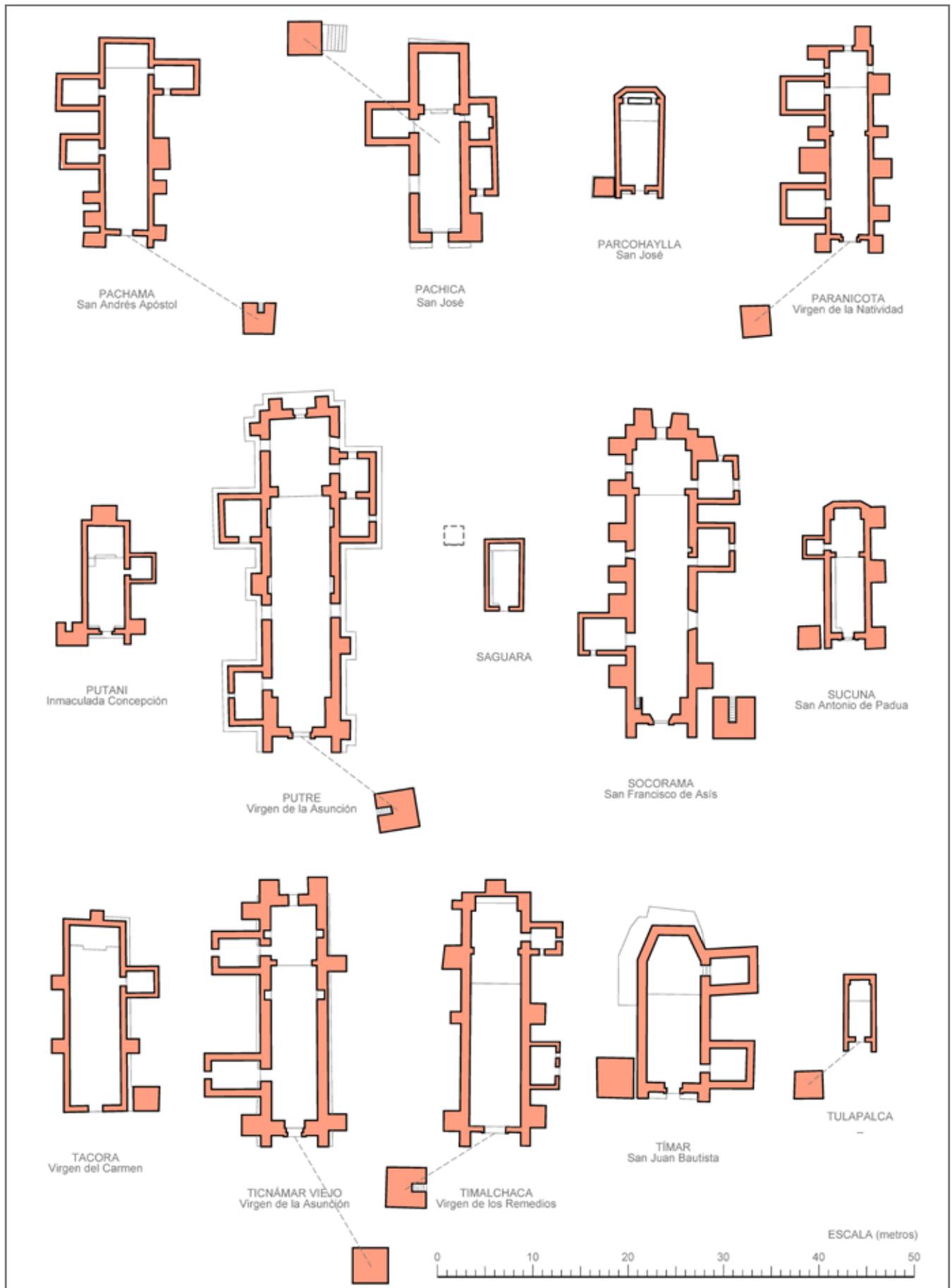


Figura 10.- Plano de estudio comparado de las plantas de las iglesias del altiplano en las regiones de Arica y Parinacota (2 de 2).

Discusión: cambios para reducir la vulnerabilidad sísmica

—Características de la fábrica

Las características de las fábricas son constantes en todas las iglesias chilenas estudiadas [Figura 11]. Se han localizado dos tipos, uno de mampostería de piedra (presente en todas las iglesias) y otro de mampostería de adobe (ladrillo sin cocer) en zonas puntuales de algunas construcciones.

En la primera, el material empleado es la piedra andesita local (una roca plutónica labrable). Las fábricas se realizan en todos los casos con piezas más grandes para formar las esquinas (con una débil labra), los recercados de los huecos y los contrafuertes; mientras que los lienzos de muros se aparejan a dos caras con las piedras careadas y argamasa de barro.

En la segunda, se emplean mampuestos paralelepípedicos de una masa de barro sin cocer, secada al aire, que aglomera paja. Estas piezas, que se fabricaban con gradillas (moldes de madera de 2 ó 3 piezas), se pegan igualmente para formar la fábrica con argamasa de barro. Los adobes se colocan siempre sobre hiladas de piedra por la base de los muros (para protegerlos de la humedad de capilaridad) coronados con paja (para evitar su disgregación por la lluvia). Con adobe se realizan, también, tramos puntuales de las fábricas, como determinados recercados o los hastiales de la fachada.

En la cimentación se emplea siempre mampostería de piedra, con mampuestos más grandes (perpiaños) y calicanto. Todas las fábricas cuentan con un revestimiento de mortero de barro de varias capas, siendo la última un enjalbegado de cal (mezcla de cal, arena fina y agua), que es apreciable en todas las fábricas (Consejo 1979), salvo en aquellas que lo han perdido por la meteorización. Por lo tanto, la cal se empleaba en muy pequeña cantidad y siempre para la última capa protectora y embellecedora de los paramentos, siendo el barro el conglomerante principal, tanto para coger los mampuestos de todo tipo como para la base de los revestimientos. La cantería sólo

se emplea en las portadas (para componer la fachada) y en los arcos de los campanarios.

Todas estas técnicas, conocidas en la Península Ibérica desde antiguo, están extensamente empleadas en las construcciones existentes en España y son las mismas que podemos encontrar en la mayor parte del patrimonio español construido en varios continentes: Europa, África (Canarias), América, Asia (Filipinas) y Oceanía (Micronesia). Muy especialmente en las fortificaciones, que actualmente permanecen y pueden ser identificadas.

La investigadora colombiana Angélica Chica (Chica 2015) proporciona un soporte científico comparado. Ha realizado el estudio de los templos doctrineros en los pueblos de indios de otra región de los Andes, el Altiplano Cundiboyacense^[7], en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, de Colombia (iglesias de Cajicá, Tunjuelo, San Pedro de Iguaque, Sora-Furaquirá-Capitanejo de Motavita, Cucaita-Capitanejo de Boyacá, Tocancipá, Ubaté, Gachetá-Chipasaque, Cómbita-Cucaita-Oicatá-Samacá-Sora-Soraca, Chivatá, Zipacón, Chía-Pasasaque, Ramiriquí-Viracachá, Bojacá, Gachantiva-Turca y Fusagasugá).

La investigadora explica con acierto que el estudio del barroco andino se había centrado en los “templos mayores”, dejando a un lado estas pequeñas iglesias, para las que aclara su traza siguiendo lo que ella denomina un programa arquitectónico muy definido: Una única nave, con un presbiterio separado por un arco toral, todo ello construido en fábrica y con cubierta de armadura de madera. Con espadaña–campanario, una sacristía y, en la fachada, un espacio exterior de atrio. Es, esencialmente, el mismo programa funcional que encontramos en las iglesias chilenas objeto de estudio.

En los levantamientos arquitectónicos de planos que incluye de todas estas iglesias (Chica 2015) se puede observar que: no tienen torre campanario separada, sino que en su mayoría tienen espadaña en la fachada (siguiendo el modelo de barroco español en América); carecen de contrafuertes pronunciados y menos aún ataluzados; sus armaduras de madera son completas y sus cubiertas cuentan con teja (menos ligeras que las de paja).



Figura 11.- Estudio de las fábricas: Izquierda, fachada de la iglesia de Sucuna. Centro, cabecera de la iglesia de Sucuna. Derecha, poblado de Parinacota.

Carecen, en definitiva, de las modificaciones introducidas en Chile para mejorar su comportamiento estructural reduciendo la vulnerabilidad sísmica. Las colombianas tienen más similitud tipológica con las peninsulares y las canarias.

En el estudio de esta Arquitectura (Chica 2015), "se había dejado la técnica un poco soslayada" y al aportarla en su metodología "muestra otra dimensión que no había sido tenida en cuenta". Expone los sistemas constructivos empleados a través del estudio en archivos de las "condiciones" (pliegos de condiciones de su construcción original en los siglos XVI y XVII) y los materiales que aparecen en estos documentos de contrato son exactamente los mismos peninsulares: mamposterías de piedra, cimientos de calicanto, tapia y adobes de tierra "si la hay de buena calidad", armaduras de pares de madera, etc, seleccionando estos pliegos los materiales más adaptados a cada territorio. Incluso las detalladas condiciones emplean la misma jerga constructiva. También son exactamente los mismos materiales y sistemas de las iglesias estudiadas en Chile, salvo los cambios estructurales que se indican:

Cambios introducidos en las iglesias de Arica y Parinacota para la reducción de la vulnerabilidad sísmica

Los planos de planta de las 30 iglesias (se presentan reducidos en las Figuras 9 y 10, a una escala que pueda ser publicada, partiendo de una escala inicial de estudio a E.1/100), han permitido tanto el estudio comparado de su geometría con otras pequeñas iglesias del estado del arte, como la tipificación de su estructura portante de muros y contrafuertes.

Presentan las siguientes constantes formales y constructivas:

Se ha comprobado que todas las iglesias tienen una única nave (las 30), con torre^[8] campanario^[9] (28 de las 30), con un atrio^[10] de muro de piedra (que conservan 26 de las 30) y la mayoría de ellas con un calvario^[11] (que conservan 19 de las 30).

En esta tipología chilena, la cabecera o presbiterio no está volumétricamente diferenciada (ni en planta ni en cubierta). La estructura está resuelta con una simple caja de muros de pequeña esbeltez (gruesos muros en relación a su escasa altura). El presbiterio sólo se separa de la nave por medio de un arco toral o restos del mismo (en 14 de las 30 iglesias) y una elevación en el suelo de uno a tres peldaños (en 23 de las 30). La cabecera es recta en 27 de las 30 iglesias y sólo tres de ellas presentan un achaflanado en el exterior que no se trasluce en el interior de las plantas.

La proporción de la planta es estrecha y extremadamente alargada, la media es de 3,00 (proporción largo/ancho), existiendo casos singulares como los de la iglesia de Santiago en Belén (proporción 4,35) y las de Putre y Socorama (4,21).

Con respecto al arco toral, en 8 de las 14 iglesias aparece dañado (el arco se ha caído y sólo se han conservado sus pilastras y los salmeres del arco), aunque continúa cumpliendo la misma función litúrgica de separar el presbiterio de la nave. Su manifiesta rotura pone de manifiesto las causas sísmicas.

La profusión de contrafuertes es lo más evidente en el trabajo gráfico realizado: interiormente las iglesias no presentan más contrafuertes que los reseñados para el arco toral, pero por el exterior tienen muchos contrafuertes, además de capillas y/o sacristías laterales dispuestas específicamente de manera que arriostran los muros de la nave hacia fuera. La media de elementos arriostrantes de todas las iglesias es de 8,8, destacando las iglesias de Socorama (con 18 elementos) y Parinacota y Putre (con 16 elementos arriostrantes cada una). Se ha constatado también que las que menos elementos arriostrantes tienen son siempre las iglesias más pequeñas (Parcohaylla, Tulapalca o Saguara), que son las menos solicitadas estructuralmente. Los contrafuertes estaban dispuestos con sentido estructural, pero sin una distribución geométrica regular, salvo los que arriostran la fachada, que mantienen la simetría compositiva.

Una de las características de las iglesias del barroco español es la existencia de un coro elevado a los pies, pero en las iglesias chilenas objeto de estudio sólo se ha constatado en las iglesias de Socorama y Livilcar.

Las cubiertas han resultado ser en todos los casos de trazado geométrico a dos aguas, cuyos faldones vuelan en la fachada sobre los estribos formando un pequeño soportal (en 24 de las 30 iglesias). Las tres iglesias con cabecera achaflanada resuelven su cubierta con más vertientes en este tramo, pero de una manera poco académica, sin demasiadas complicaciones estructurales.

En todos los casos la cubierta es extremadamente ligera: el entramado secundario, sobre la armadura de madera, es o de palos de madera (cabrios), o de cañas, sobre el que se coloca una estera de totora^[12] y encima la cobertura de paja^[13]. Algunas de las iglesias presentan en la actualidad chapas metálicas acanaladas u onduladas que en Chile denominan "calaminas" para garantizar la estanqueidad con materiales nuevos. En muchos casos se ha colocado chapa primero y la paja encima para ocultar la chapa a la vista.

Con respecto a la "decoración de fachada":

- La imagen eficaz de la iglesia se obtenía a través de dos elementos: la fachada como elemento de mayor altura de todo el edificio y su decoración al exterior, y la torre como elemento singular.

- Los alardes estilísticos que presenta la fachada son la portada de piedra labrada enmarcada por los dos contrafuertes, el trazado del arco de la portada y la existencia de columnas y otros elementos decorativos como molduras o zócalo.

- Sólo 8 de las 30 iglesias (Cobija, Codpa, Guañacagua, Livícar, Mulluri, Pachama, Putre y Socorama) presentan en la composición y decoración de la fachada un estilo culto que pueda ser calificado de “barroco”, siendo el resto de las iglesias tan sencillas en su decoración que deberían ser calificadas de “estilo popular”.

Varias de las iglesias han conservado interiormente las pinturas murales de la decoración original de los siglos XVI y XVII (Guarda 2012). La mayoría de las iglesias cuenta con retablos que normalmente se estructuran con tres calles y dos o tres niveles, dotados con hornacinas para alojar las imágenes. Estos retablos no están contruidos en madera (que sería lo habitual en el barroco) sino con fábrica, en una solución barata y funcional. Normalmente son de fábrica de adobe y de mampostería (similar a los muros de la iglesia) y revestidos con revocos, molduras, columnas, etc, policromados o enalados. En casi todas las iglesias este retablo se dispone paralelamente al muro de la cabecera y entre ambos existe una escalera que permite acceder a las imágenes.

Las torres-campanario tienen poca esbeltez (relación entre su altura y su base) comparándolas con las iglesias canarias. Cuentan con un cuerpo inferior macizo y un cuerpo de campanas más pequeño en planta, a modo de templete. El cuerpo inferior remata en una cornisa y proporciona la base para el apoyo del cuerpo de campanas.

- El cuerpo inferior es ataluzado en 14 de las 28 torres y recto en las otras 14. En 2 de las iglesias este cuerpo presenta un basamento diferenciado (un zócalo sobresaliente) y en 1 aparece dividido en dos tramos por una imposta.

- El cuerpo de campanas normalmente está retranqueado del cuerpo inferior en todos los frentes; 27 de los 28 cuerpos de campana son iguales, resueltos íntegramente con sillería de tosca labra, a base de cuatro pilastras y arcos en cada uno de los cuatro frentes, que sujetan una cúpula de media naranja sobre trompas, las pilastras están contrapesadas para absorber los empujes de la bóveda.

Aportaciones al conocimiento

Las investigaciones actuales sobre las iglesias chilenas y su afección sísmica (Jorquera 2017), se han venido realizando sin una identificación previa de la tipología de pequeñas iglesias de la construcción española, mezclándolas con otras tipologías de comportamiento estructural muy distinto, como las iglesias de Chiloé (que son totalmente de madera) o las iglesias posteriores a la Independencia de Chile (que se realizaron sólo en las grandes ciudades y son fruto de intervenciones mucho más recientes). Por ello y por la falta de un estudio comparado con los modelos peninsulares originales, no se habían valorado en su importancia las estrategias que habían sido introducidas durante el Imperio español para la reducción de la vulnerabilidad sísmica en las fábricas.

Por otro lado, en los últimos años, los códigos estructurales, no han considerado adecuadamente las estructuras del patrimonio cultural, centrándose en las obras de nueva planta y propugnando las mismas técnicas también para el supuesto “refuerzo” de las construcciones históricas. A la incompatibilidad física, mecánica y química del hormigón y del acero, que se han venido utilizando para obtener presuntas “fábricas reforzadas”, se ha llegado siguiendo hipótesis de cálculo estructural no contrastadas con casos reales de terremotos. Por ello, a medida que los centros históricos europeos van siendo sometidos a altas aceleraciones sísmicas por sucesivos terremotos (casos en Italia de L’Aquila en 2009 y Amatrice en 2016, y de Lorca, España, en 2011, con aceleraciones 0,35-0,39g) se está constatando su mayor vulnerabilidad^[13] sísmica (Salcedo 2012) (Fortea 2020), y en sus derrumbes se encuentran restos de estructuras nuevas de hormigón y acero que han producido un comportamiento anómalo a las estructuras de fábrica. Se trata de un error “de manual”, porque, al no ser posible reducir la peligrosidad sísmica de un lugar, la única estrategia estructural posible es reducir la vulnerabilidad de las construcciones que se realicen de nueva planta o se rehabiliten.

En próximas líneas de investigación habrá que volver atrás, recuperar conceptos como la ligereza de pisos y cubiertas, la reducción de la esbeltez y otros que nos muestran claramente estos edificios patrimoniales de Chile que han sobrevivido a los terremotos y que no habían sido valorados. Para intervenir en ellos correctamente, habrá que analizar determinados diseños estructurales de los sistemas históricos, trabajar en la elección de los materiales naturales (piedra y madera) y en la mejora de los materiales artificiales componentes de las fábricas, siendo el mortero estructural de pegar las fábricas el material que más innovación admite por la evolución reciente en las técnicas de fabricación, métodos de dosificación y de cálculo, ensayos de laboratorio, etc.

Conclusiones

Se han buscado en regiones de alta peligrosidad sísmica construcciones históricas que hubieran soportado terremotos durante varios siglos. Y se han encontrado al Norte de Chile (en la región de Arica y Parinacota) la práctica totalidad de las pequeñas iglesias parroquiales construidas por los españoles en esta región de colonización temprana, a partir del siglo XVI. Se ha descubierto que fueron realizadas siguiendo los modelos de las estructuras de fábricas y de madera peninsulares, pero introduciendo en ellos una serie de modificaciones estructurales que han resultado claves para reducir su vulnerabilidad sísmica.

La sola constatación de su pervivencia en la actualidad, sin haber realizado sobre ellas más intervenciones que su mantenimiento en uso y reparaciones post-sismo con las mismas técnicas tradicionales (manteniendo la fábrica sin

reforzar con nuevos materiales), evidencia que es posible mejorar la vulnerabilidad sísmica del patrimonio histórico de las estructuras de fábricas siguiendo las propias reglas del sistema.

El estudio de este comportamiento sísmico proporciona un buen punto de partida para la conservación del patrimonio histórico en cuanto a su seguridad estructural y contrasta con el pésimo comportamiento estructural que las últimas investigaciones están poniendo de manifiesto en los centros históricos europeos afectados por terremotos^[14] (Salcedo 2012; Fortea 2020), en los que se está descubriendo que las intervenciones se han venido realizando siguiendo bases de cálculo no suficientemente contrastadas con el comportamiento real en caso de sismo y empleando de forma generalizada, sin fundamento, acero y hormigón.

Notas

[1] El riesgo sísmico (seismic risk) depende de la peligrosidad sísmica (seismic hazard) del lugar y de la vulnerabilidad sísmica (seismic vulnerability) de las construcciones. La estrategia a seguir en las construcciones realizadas en zona sísmica es reducir la vulnerabilidad de la estructura.

[2] En este tratado se le otorgó a Bolivia un amplio derecho de tráfico comercial por territorio chileno hasta los puertos del pacífico.

[3] Que acompañaron a Diego de Almagro, conquistador de Chile, desde el Virreinato de Perú.

[4] La conquista del territorio por los españoles fue siempre asociada a la colonización y evangelización y los militares iban acompañados de misioneros de órdenes religiosas. En este proceso fueron claves las reducciones (poblados de indios) y las ciudades fundadas.

[5] Han sido clasificadas como arte mudéjar, aunque ni por sus materiales (en Canarias no hay arcilla y por tanto no tienen fábricas de ladrillo), ni por su fecha de construcción (fueron construidas a partir del siglo XVI y XVII cuando ya no quedaban mudéjares sometidos), pueden serlo en propiedad. Sólo tienen en común con cierto mudéjar la existencia de estructuras de madera.

[6] Las iglesias más importantes de Canarias, conocidas y estudiadas por la Historia del Arte tienen varias naves (tampoco son comparables porque las naves se separan con arcos formeros y sus columnas-pilastras), por ejemplo, en la isla de La Palma: la Iglesia Matriz de El Salvador en Santa Cruz de La Palma (fundada en 1500), la iglesia de San Juan Bautista en Puntallana (1515), la iglesia de Nuestra Señora de los Remedios en Los Llanos de Aridane (1517), la iglesia de Nuestra Señora de la Luz en Garaffa (principios del siglo XVII). En la isla de Tenerife: la iglesia de La Concepción en San Cristóbal de La Laguna (1511) y la iglesia de la Inmaculada Concepción en Santa Cruz de Tenerife (construida en varias fases en el siglo XVI). La iglesia matriz de La Asunción en

la Gomera (siglo XVI y siguientes). La iglesia de la Concepción en Betancuria, Fuerteventura (siglo XV y siguientes).

[7] Peligrosidad sísmica de esta zona: Tiene una aceleración de 0,13 a 0,27g. Menor a la de la zona de estudio en Chile. Fuente: Mapa de Zonificación Sísmica de Colombia.

[8] Nótese que no tienen espadaña (frecuente en el barroco americano en otras zonas) sino siempre campanario sobre una torre.

[9] Sólo la iglesia de Chitita carece de torre-campanario. La de Sagua tuvo torre, pero actualmente sólo conserva restos de su planta.

[10] En muchas pequeñas iglesias de España y de América se denomina "atrio" a un recinto alrededor de las iglesias, cerrado por una pared y dotado de un acceso, que engloba a otras construcciones como la torre campanario cuando es exenta.

[11] El calvario es un pequeño templete, formado por un altar cubierto por una cúpula sobre cuatro pilastras (similar en forma y escala al cuerpo de campanas de campanario) y dispuesto dentro del atrio. Sirve para cuestiones ceremoniales al aire libre.

[12] Tatora (del quechua t'utura): Es un tipo de junco *Schoenoplectus californicus*. Es una planta herbácea semiacuática, común en esteros y pantanos en América del Sur.

[13] "Paja brava" o ichu: Es una planta endémica de Sudamérica, empleada como pasto para el ganado y antaño para la cobertura de las construcciones.

[14] Todos ellos han sido sometidos a una relativamente baja aceleración sísmica y sin embargo han tenido un fracaso generalizado de las estructuras presuntamente reforzadas.

Referencias

CERECEDA, P.; ERRÁZURIZ A.-M. y LAGOS M. (2011). *Terremotos y tsunamis en Chile*, Santiago de Chile: Origo Ediciones.

CHICA SEGOVIA, A. (2015). *Aspectos histórico – tecnológicos de las iglesias de los pueblos de indios del siglo XVII en el Altiplano Cundiboyacense como herramienta para su valoración y conservación* (tesis doctoral). Universidad Nacional, Bogotá, Colombia.

CIFUENTES, I. L. (1989). *The 1960 Chilean earthquakes* JGR, Solid Earth, 1989.

CONSEJO DE MONUMENTOS NACIONALES DE CHILE. (1979). "Decreto de declaración de Monumento Histórico de la iglesia de Parinacota y de zona típica y de protección todo el pueblo de Parinacota".

CONSEJO DE MONUMENTOS NACIONALES DE CHILE (2013). Decreto nº 0451.

DELOUIS, B. y LEGRAND, D. (2007). "Mw 7.8 Tarapaca intermediate depth earthquake of 13 June 2005 (northern Chile): Fault plane identification and slip distribution by waveform inversion", *Geophysical Research Letters*, 34(1). <https://doi.org/10.1029/2006GL028193>

FORTEA, M. y SALCEDO, J.-C. (2020). "La influencia de las alteraciones estructurales en los daños del terremoto de Amatrice, Italia (2016)". *Informes de la Construcción*, 72(559), <https://doi.org/10.3989/ic.71378>.

FUNDACIÓN ALTIPLANO. (2010). *Memoria anual*. Fundación Altiplano, Arica.

GAZULLA GALVE, P. (1918). *Los primeros Mercedarios en Chile. 1535-1600*, Santiago de Chile: La Ilustración.

GOBIERNO DE CHILE. (1970). "Ley nº 17.288 de Monumentos Nacionales".

GUARDA GEWITZ, G. O.; MORENO JERIA, R.; PEREIRA CAMPOS, M.; et al (2012). *Iglesias andinas de Arica y Parancota: Las huellas de la ruta de la Plata*, ISBN 978-956-9221-00-2 ed., F. Altiplano. Arica.

JORQUERA, N.; MISSERI, G.; PALAZZI, N.; ROVERO L. y TONIETTI, U. (2017). "Structural characterization and seismic performance of San Francisco Church, the most ancient monument in Santiago, Chile". *International Journal of Architectural Heritage*, 11(8): 1061-1085. <https://doi.org/10.1080/15583058.2017.1315620>

MADARIAGA, R. (1998). *Sismicidad de Chile*. Física de la Tierra, 10: 221-258.

MARSILLI M. N. Y CISTERNAS, P. (2010). "Los senderos de la idolatría: El viaje de Vázquez de Espinosa por los Altos de Arica, 1618" *Chungará*, 42(2): 465-476. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-7356201000020000>

MINGO, J. de (2021). "La iglesia de Cubas de la Sagra (Madrid)" Blog ALBANÉCAR, *Bitácora sobre la Carpintería de Lo Blanco*. <https://www.albanecar.es/>

PINO, G. (1987). "El barroco americano", *Revista Estudios*, 7:119-139.

SALCEDO, J.-C. y CAMPESINO, A. J. (2012). "Experiencias constructivas del terremoto de Lorca". *Investigaciones Geográficas* 57: 7 – 37. <https://doi.org/10.14198/INGEO2012.57.01>

SILVESTRE MADRID, M.A. (2019). *Las relaciones entre Almadén y la América colonial*, Tesis doctoral. Universidad de Córdoba, 2019.

Autor/es



José-Carlos Salcedo Hernández

jcsalcedo@unex.es

Escuela Politécnica. Universidad de Extremadura.

<https://orcid.org/0000-0002-7185-0286>

Arquitecto por la E.T.S. de Arquitectura de Madrid (Universidad Politécnica) en las dos especialidades, Edificación (1994) y Urbanismo (2005), y Doctor con Premio Extraordinario (2011). Profesor contratado doctor del Área de Construcciones Arquitectónicas en la Escuela Politécnica de Cáceres (Universidad de Extremadura), con 24 años de experiencia docente universitaria y tres tesis doctorales dirigidas. Es funcionario de carrera en excedencia de la Administración autonómica. En su experiencia profesional como arquitecto, reúne proyectos y direcciones de obras de edificación, redacción de planes generales y de protección del patrimonio, entre otros, en municipios y bienes de la UNESCO en Guadalupe, Cáceres y Mérida. Su intervención en el acueducto del Arca del Agua de Guadalupe obtuvo el Premio de Urbanismo de Extremadura en 2021 y ha recibido otros premios en concursos de Arquitectura (Ministerio de Vivienda, Colegio de Arquitectos de Castilla La Mancha...), con un proyecto nominado por el Colegio de Arquitectos de Extremadura para el Premio Nacional de Arquitectura en 1999. Tiene más de 10 años de experiencia investigadora postdoctoral, en los que ha registrado 7 patentes, una docena de artículos en revistas indexadas, 5 libros y 10 capítulos de libros. Ha sido investigador colaborador en 3 proyectos del Plan Nacional e investigador principal en una veintena de contratos con empresas y Administraciones públicas. Ha sido becario del Ministerio para estancias de investigación postdoctoral en el extranjero, y profesor-investigador visitante en las universidades degli Studi de Florencia (Italia), Vítus Behring de Hørsen (Dinamarca) y Nova de Lisboa (Portugal).

Artículo enviado el 19/11/2021
Artículo aceptado el 16/03/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1088>



The UNESCO site of the Casbah in the Master Plan of Algiers (PDAU^[1]): between heritage requirements and the need for coordination

Mohamed Boukader, Youcef Chennaoui

Abstract: This article addresses the question of how to protect those historical, urban sites, inscribed on the UNESCO World Heritage List, from the negative impact of stress, caused by the urban dynamic. We put forward the hypothesis that, as part of a holistic vision of protection, safeguard measures must be integrated into the urban development plans for those towns in which these sites are an integral part. This will avoid conflict between the demands of development, and the safeguard measures. Through the example of the UNESCO site of the Casbah, we will examine the strategy of the PDAU of Algiers, to safeguard of the UNESCO site and its reintegration into the Algiers agglomeration. This article adopts a methodology based on a critical, comparative analysis of the strategic heritage plan, as laid down in the PDAU. It examines the proposed safeguarding measures and evaluates its coordination with the safeguarding plan. An examination of the solutions proposed by the PDAU reveals several morphological weaknesses and contradictory prescriptions, favoring a poor connection between the safeguard plan and the PDAU. Consequently, only an integrated approach to urban conservation will reinforce the protection of the site and ensure its reconnection with the Algiers metropolis.

Keywords: Casbah of Algiers, conflicts, development pressures, World Heritage Sites, buffer zone, Heritage

El sitio UNESCO de la Casbah en el Plan Director de Argel (PDAU): entre las exigencias patrimoniales y la necesidad de coordinación

Resumen: Este artículo aborda la cuestión de cómo proteger esos sitios históricos urbanos, inscritos en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO, del impacto negativo del estrés causado por la dinámica urbana. Planteamos la hipótesis de que, como parte de una visión holística de la protección, las medidas de salvaguarda deben integrarse en los planes de desarrollo urbano de aquellas localidades en las que estos sitios son parte integral. Esto evitará conflictos entre las exigencias del desarrollo y las medidas de salvaguarda. A través del ejemplo del sitio de la UNESCO de la Casbah, examinaremos la estrategia del PDAU de Argel, para salvaguardar el sitio de la UNESCO y su reintegración en la aglomeración de Argel. Este artículo adopta una metodología basada en un análisis crítico y comparativo del plan estratégico de patrimonio, tal como se establece en el PDAU. Examina las medidas de salvaguarda propuestas y evalúa su coordinación con el plan de salvaguarda. Un examen de las soluciones propuestas por el PDAU revela varias debilidades morfológicas y prescripciones contradictorias, favoreciendo una mala conexión entre el plan de salvaguarda y el PDAU. En consecuencia, solo un enfoque integrado de la conservación urbana reforzará la protección del sitio y garantizará su reconexión con la metrópoli de Argel.

Palabras clave: Casbah de Argel, conflictos, presiones de desarrollo, Patrimonio de la Humanidad, zona de amortiguamiento, patrimonio

O sítio da UNESCO de Casbah no Plano Diretor de Argel (PDAU): entre as exigências patrimoniais e a necessidade de coordenação

Resumo: Este artigo aborda a questão de como proteger os sítios históricos e urbanos, inscritos na Lista do Património Mundial da UNESCO, do impacto negativo do stress, causado pela dinâmica urbana. Apresentamos a hipótese de que, como parte de uma visão holística de protecção, as medidas de salvaguarda devem ser integradas nos planos de desenvolvimento urbano para as cidades nos quais estes sítios são parte integrante. Isto evitará o conflito entre as exigências do desenvolvimento e as medidas de salvaguarda. Através do exemplo do sítio da UNESCO de Casbah, iremos examinar a estratégia do PDAU de Argel, para salvaguardar o sítio da UNESCO e a sua reintegração na aglomeração de Argel. Este artigo adopta uma metodologia baseada numa análise crítica e comparativa

do plano estratégico do património, tal como estabelecido no PDAU. Examina as medidas de salvaguarda propostas e avalia a sua coordenação com o plano de salvaguarda. Uma análise das soluções propostas pelo PDAU revela várias fraquezas morfológicas e prescrições contraditórias, favorecendo uma ligação deficiente entre o plano de salvaguarda e o PDAU. Consequentemente, só uma abordagem integrada da conservação urbana reforçará a protecção do local e assegurará a sua reconexão com a metrópole de Argel.

Palavras-chave: Casbah de Argel, Conflitos, Pressões de desenvolvimento, Património da Humanidade, Zona tampão, Património

Introduction

The question of the protection and safeguard of historical centres, and their integration into the urban dynamic of the contemporary town, is the result of a shift in the general perspective of heritage, and the protection of historical monuments, towards the preservation of the whole urban setting (Neyret 2004).

However, concern for the conservation of the urban heritage is nothing new. It first appeared in the middle of the XIXth century in the writings of four writers: J. Ruskin, C. Sitte, Patrick Geddes and G. Giovannoni, whose principal work, "L'Urbanisme face aux villes anciennes", is considered as the first academic textbook of urban development, where the question of urban heritage, and the rehabilitation of historic centres, play an integral part in the global concept of urban planning. (Choay 2009: 168; Siravo 2011).

In addition, on the institutional level, interest in old urban areas was highlighted, on an international scale, at the UNESCO conference, in Nairobi, in 1976, on the "safeguarding of historical areas and their role in contemporary life", and on the need to protect them. In 1987, ICOMOS drew up a specific charter, "The Washington Charter", dedicated to the issue of preserving historical towns (ICOMOS 1987). In 2011, a new charter, called "The Valetta Principles for the safeguarding and management of historic cities, towns and urban areas", was adopted by ICOMOS. This addressed, for the first time, the question of buffer zones around the listed, historical site, the challenges associated with risk management and lasting development, as well as the introduction of a management plan as a tool to coordinate, and holistically support, management issues at the historical site (ICOMOS 2011). During the same year, UNESCO introduced the notion of the historic urban landscape which was intended to serve as a "holistic and integral" approach to the management of the "man-made environment" (UNESCO 2011).

In fact, throughout the last thirty years, several historic urban sites, inscribed on the UNESCO World Heritage List, have experienced numerous problems caused by the stress of the urban dynamic of their own towns. Such stress is often reflected in urban renewal operations and controversial projects, either within the immediate environment of the listed urban site, or in their buffer zones, which have been judged deleterious to their integrity.

In this respect, several examples can be cited: the UNESCO site in Liverpool, in the United Kingdom – Maritime Mercantile City – which was placed on the List of World Heritage in Danger in 2012 because of the *Mann Island* development project (Gaillard & Rodwell 2015); the bridge over the River Elbe, in Dresde, Germany, which led to the town's exclusion from the UNESCO World Heritage List in 2009 (WHC 33COM7A.26S, 2009); the extremely controversial Pelli-Cajasol Tower, in Seville, Spain (Fernandez 2013: 118-129; Escobar 2013: 142-157); the project for thoroughfare T3, as well as the new memorial in the Place des Martyrs, in the heart of the Casbah: a project proposed in the new master plan for Algiers but later cancelled, due to pressure from UNESCO (WHC 2009, 2011, 2013, 2015).

All these examples show the problems that the conflict between the need for modern development, and the demands of heritage protection, can generate in these historic urban sites, threatening their survival and the continuity of their physical integrity. Thus, as the UNESCO recommendations of 2011, relating to the preservation of the historic urban landscape, stipulate, it becomes imperative to strive for a holistic approach which goes beyond the mere notion of the historical site, to include the larger urban context and its geographical framework (UNESCO 2011).

From this perspective, our article focuses on the issues concerning historic, urban sites, inscribed on the UNESCO World Heritage List, and their relation to the contemporary town. We hypothesize, therefore, that, as part of this new, holistic view of protection, safeguard measures must be an important consideration in the urban development plans of the towns, in which these sites are an integral part (Gabrielli 2011). This will avoid the conflict between the demands of development and the safeguard action, guaranteeing controlled development of all the components of the town.

In fact, such a reflective approach was recommended in the European Charter for Architectural Heritage, drawn up in Amsterdam, in 1975, which states that "Integrated conservation must be one of the first considerations in all urban and regional planning", integral with functional social and economic factors (ICOMOS 1975). Moreover, the need for a coherent and balanced interrelation between the historic centre and the contemporary town has been promoted by several authors. Giovannoni was the first urbanist to propose a conservation approach based on

the principle of a harmonious and cohesive coexistence between the modern town and its historic centre (Choay 1998: 171-174; Rodwell 2007: 33-36). The development of urban studies in Italy, France and England, during the sixties and seventies, allowed for a fresh interpretation of urban forms, in general, and historic tissue, in particular (Bandarin 2012). Consequently, the notion of history and memory of place were introduced, into the study of urban phenomena, as an alternative approach to the principles of modern development, which have been judged responsible for the plight of the modern town (Conzen 66, Rossi 96, C.N. Schulz, 1980, Nora 1986, Spigai, 1989). In this framework, several master plans of urban development were piloted in Italy and France, for those towns with historic centres classed as UNESCO heritage sites (Siena, 1968; Rome 2000; Lyon 2005; Urbino 2007; Bordeaux 2007). The authors of these plans adopted an innovative approach, going beyond the conflict, historic centre/contemporary town, to propose - as in the case of Rome, for example- a shift in thinking, from historic centre to that of historic town. Thus, given that no area is devoid of history, the historic centre merged with the modern, peripheral parts of the town (Spigai 95; Gasparini 2000, 2001; Gabellini 2008). It should be specified, here, that this approach was in line with the UNESCO recommendations, laid down in 1998, (Feilden and Jokilehto 1998: 80) for an integrated conservation, presented as a new perspective in the management and development of urban, historical sites, which aspired to reconcile the demands of conservation with the objectives of urban planning. In 2011, the UNESCO recommendations on the historic, urban landscape upheld this vision as an innovative way of conserving and managing World heritage sites, allowing the historic centre to be reconnected with the rest of the modern agglomeration (Bandarin, Van Oers 2014: 6).

Through the example of the site of the Casbah, in Algiers, which has been inscribed on the UNESCO World Heritage List since 1992, we will study the issue of heritage as is conveyed in the new Master Plan for Development and Urbanism in Algiers, actually in force, its role in the urban rehabilitation process and the guidelines for the projects envisaged. Ultimately, we will evaluate the strategy defined by the PDAU for the development of the Casbah site, as well as the solutions proposed for its rehabilitation and reintegration into the Algiers agglomeration.

The protection of the historic site of the Casbah, and its integration within the city of Algiers, has been the subject of several studies, notably those of (Lesbet 1984, 2006; Nacima Driss 2003; Ben-Hamouche 2013; Hadjri and Osmani 2004). All these works underline the historical and cultural importance of the site, warning against its degradation and decline, which still continue, despite the country's best efforts to preserve it. They advocate for a holistic approach, which includes the whole of the territory of the Casbah and its neighbouring regions within the framework of the historic urban landscape, recommended by UNESCO in 2011 (WHC 2015- 2017, 2019).

Methodology

The methodology, adopted in this article, is based on a critical and comparative study of the strategy, set down in the PDAU, for the development of the UNESCO site of the Casbah in Algiers, and includes:

- An examination of the heritage issue and its role within the proposed urban development plan.
- A critical analysis of the proposed solutions to reintegrate the Casbah into the Algiers agglomeration.
- An evaluation of the consistency and coordination between the projects of urban planning and the safeguard measures.

This article, ultimately, offers a few guidelines which could help establish an approach to an integrated urban conservation, allowing the historical centre to be reconnected to the Algiers metropolis.

— *The historical site of the Casbah in Algiers and its conservation plan (PPSMVSS)*

The Casbah in Algiers is the most iconic site in Algeria. Its inscription on the UNESCO World Heritage List, in 1992, was based on criteria II and V. Its importance as a heritage site resides in the phenomenon of historical stratification; a stratification which dates back to 4 AD, and of which the last colonial phase was the most devastating (Cresti 1993). However, despite the colonial transformations carried out at the site, and seismic damage, the Casbah in Algiers, at least in its upper part, still retains its integrity. On the whole, its aesthetic character, its architectural elements, along with the materials used, still maintain their original aspect. Moreover, the Casbah bears witness to a remarkable authenticity, not only through its urban form, its architectural typology and its construction materials (marble, earthen bricks, mud and lime plasters, stone and wood) but also through its function (residential, commercial, religious) and its popular traditions.

- The Permanent Plan for the safeguard and development of the Safeguarded sector of the Casbah in Algiers (PPSMVSS).

The Permanent Plan for the safeguard and development of the safeguarded sector of the Casbah in Algiers is a tool for managing, protecting and developing the safeguarded sector of the Casbah in Algiers, which was established and defined by executive decree N 05-173, on May 3rd, 2005. The perimeter of the safeguarded sector of the Casbah covers a surface of 105ha and spreads out over four communes: the commune of the Casbah, the commune of Bab El-Oued, the commune of Oued Koreiche and the commune of central Algiers. In fact, the perimeter of the safeguarded sector is composed of the UNESCO world heritage site, with a surface area of 70ha, surrounded by a protection zone of 35ha, making up the total surface area of 105ha [Figure 1].

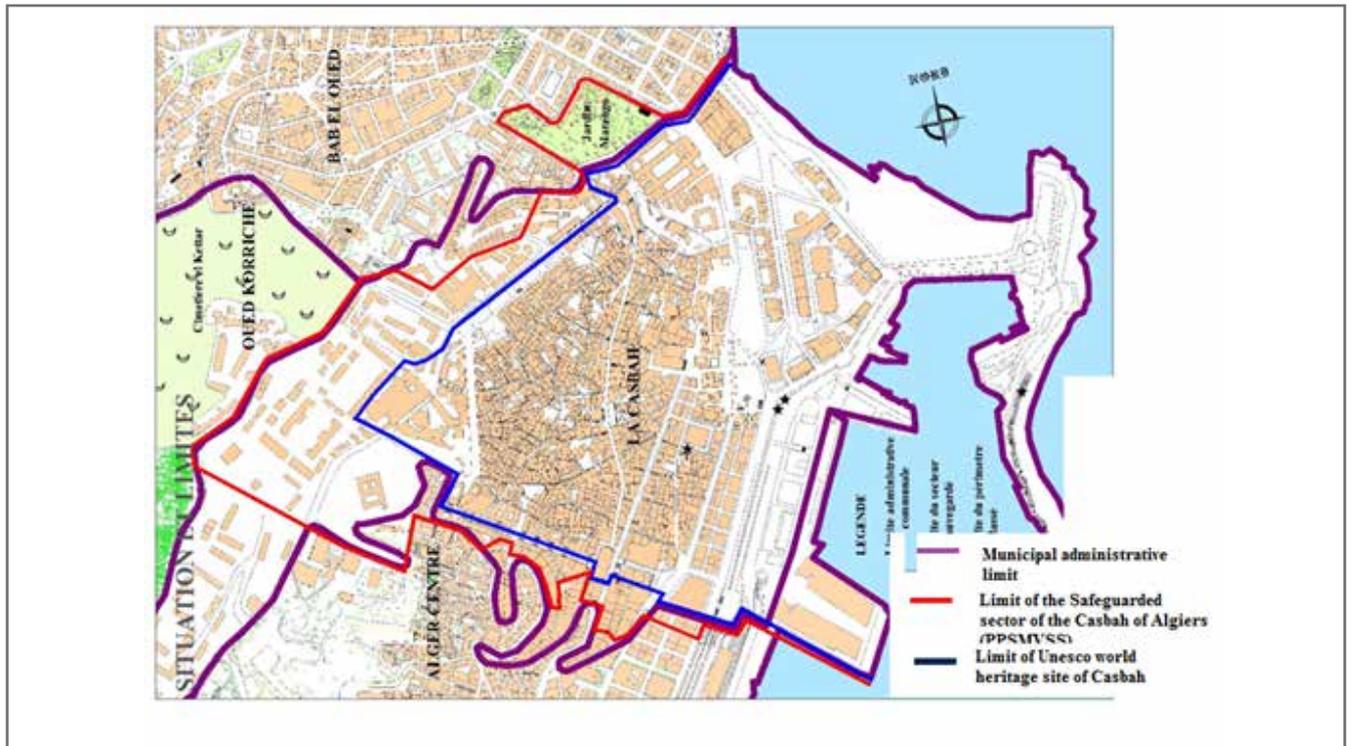


Figure 1.- Limit of the conservation area of the Casbah of Algiers. Source. PPSMVSS of the Casbah of Algiers.

The PPSMVSS, as a conservation plan, in essence, patrimonial, focuses on the protection and development of the safeguarded sector. Consequently, the terms of reference for its regulations significantly reflect the objectives related to the conservation of the site, and to its urban form ^[2].

The Casbah of Algiers in the newly- revised Master Plan for Development and Urban Planning of Algiers (PDAU) 2009-2035.

— *Presentation of the new PDAU of Algiers and its objectives*

In 2006, the Wilaya of Algiers hosted two international conferences. The first one focused on a revision of the Master Plan of Development and Urbanism, the second on a development plan for the Bay of Algiers, a coastal band of about 50km long. As an instrument of spatial planning and urban management, the PDAU highlights the development strategies put into place by the Wilaya of Algiers and focuses on its principal objectives which include restoring the city's international ranking, encouraging the development of the tertiary sector, controlling urban sprawl and enhance its environmental qualities (Parque Expo 2011: 19-21).

— *The issue of protection of the cultural heritage within the framework of the new PDAU: evidence of progress*

From independence to the present day, of all the master

plans successively drawn up by the Wilaya of Algiers, the new PDAU is the first one in which the treatment of the cultural heritage question has made undeniable headway. In fact, in the new plan, the heritage component is considered as a fundamental part of the development process and, as such, must contribute effectively to all aspects of future sustainable development - socio-economic, environmental and cultural - in the Wilaya of Algiers (Parque Expo 2011: 139).

Moreover, by going beyond the traditional view of cultural heritage, which limited protection to the World Heritage site of the Casbah and a few major edifices in the capital, already listed, and protected by the regulations, the new PDAU offers, today, a more holistic vision which encompasses both the major and minor elements (tissue; edifices; ruins) as well as public spaces of an urban nature or peripheral, heritage centres, such as the town centres of Birtouta and Rouiba.

— *The rehabilitation project in the historic central zone, and the problems surrounding the integration of the Casbah into the Algiers agglomeration*

The rehabilitation of the historic, central urban area is a major issue in the development strategy, adopted by the new PDAU of Algiers^[3]. Within this context, the first stage of the PDAU, called The Enhancement Phase, aimed to address the question of the renovation, and redevelopment, of the central urban zone, and find a way to integrate the historic site of the Casbah into the fabric of the city.

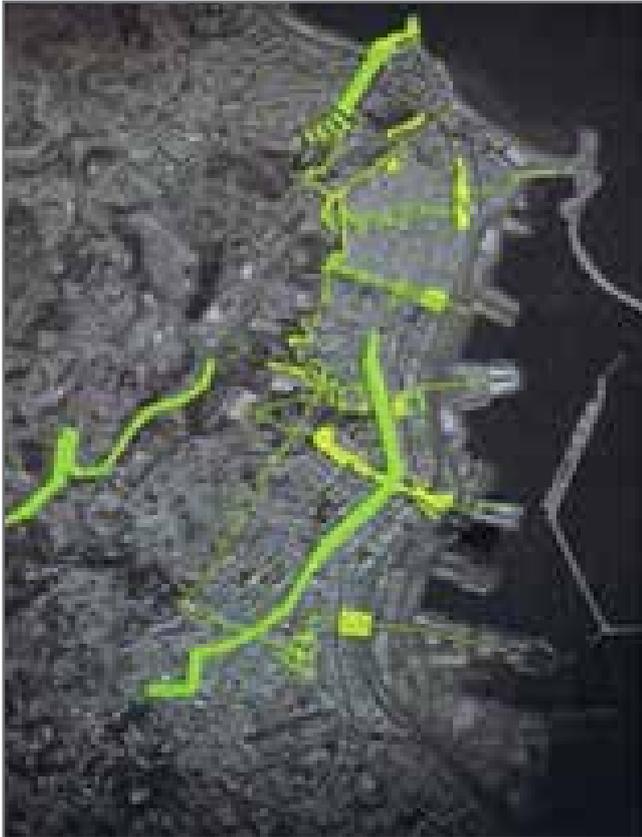


Figure 2.- Parque Expo. Structural streets subject to rehabilitation. Source: Vies de Villes review; special issue N°03, Algiers, July 2012.

-The Enhancement Phase (2009-2014)

Initially planned for the end of 2014^[4], the enhancement of the city of Algiers, especially its historical part, was of absolute priority in this phase of the project. The interventions undertaken, and the projects launched, throughout this five- year period, were divided, according to priority, into five different stages, of which the first two were the most important. Stage one focused on reclaiming the sea front and the recuperation of the relation between the sea and the town. Stage two was committed to the rehabilitation of the historic centre, by rebuilding public spaces, and through an evaluation and restoration of the existing heritage sites [Figure 2].

The restoration of the Casbah, and the rehabilitation of the historic centre, can be cited as examples of emergency interventions. For the PDAU, identification and safeguard of the image of the city of Algiers, was, undoubtedly, the major problem in the rehabilitation of the central urban area. Defined as a panoramic skyline linking the upper part of the town with the lower, this has been listed as heritage to be protected and valued. With this in mind, and as part of the emergency measures, development projects for the historic roads and main boulevards, totalling 47km in length, were put into place, aiming to give the city new centralities which would help to give it structure and ultimately contribute to its image [Figure 3].

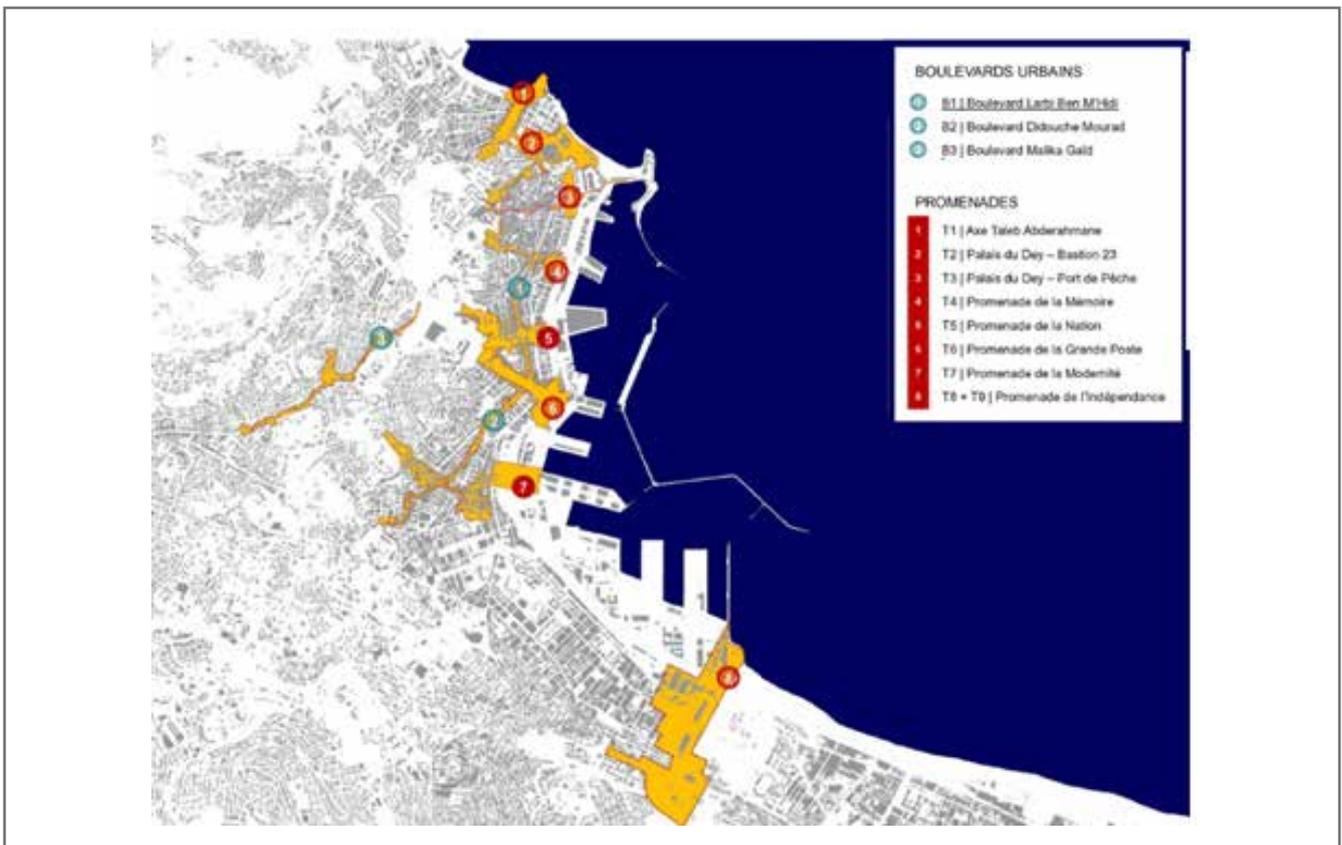


Figure 3.- PDAU Urgent projects. Source: master plan- project deliverable 12B. Strategies and development plans for public spaces and registered sites- built heritage. Parque Expo;2012 approved final version.

The problem of reintegrating the Casbah into the town of Algiers and the coordination between the PDAU and the PPSMVSS

— A review of the project for the thoroughfares T2 and T4

The question of integrating the historical site of the Casbah into the urban fabric of the Algiers agglomeration was addressed by the new PDAU and took the form of a rehabilitation project for the historic central urban area. Complying with the regulations laid down in the PPSMVSS, concerning the perimeter of the safeguarded area, the PDAU put forward a strategy to include it in the regeneration of the city centre. This consists of redeveloping the main roads, and junctions, that give the town its urban form. In fact, three, out of the eight thoroughfares, are linked to the safeguarded sector, of which two of them, one in the north, and one in the south, delineate its boundaries.

Furthermore, it is proposed that the strategy to reintegrate the safeguarded sector of the Casbah be achieved through the development of the two thoroughfares, Ouridad Medad Boulevard, in the north, and Hadad Abderzak Boulevard, in the south, and through the renovation of the coastal road leading to Che Guevara Boulevard and Ziroud Youcef Boulevard.

Consequently, a study of the project proposals for the two thoroughfares, as laid down in the PDAU, is of vital importance to our research, for the following reasons:

- Situated in tangent zones (buffer zones) between the safeguarded sector of the Casbah and the town of Algiers,

these thoroughfares represent veritable transition zones between the old historic centre and the rest of the town.

- A study of the solutions put forward in the project proposal will inform us how the new PDAU has treated, on the one hand, the question of coordination between the two regulatory tools, the PDAU and the PPSMVSS, and, on the other, the issue of continuity of the urban fabric, and the typo-morphological choice, within these buffer zones, in order to ensure a better integration of the historic centre within the Algiers agglomeration.

—The thoroughfare T2 from “Palais de Dey to Bastion 23”

The project drawn up for the thoroughfare T2 [Figure 4] is based on the concept of a specific relationship between the upper part of the city of Algiers and its lower part. It consists of redevelopment to link two main points: the two fortresses of Palais de Dey, in the upper part of the town, and the Bastion 23, in the lower part, near the port. It also includes the rehabilitation of those public spaces situated along the route, which are, today, either underused, or abandoned, by inserting various architectural elements (equipment, street furniture...) to ensure better use of the areas.

The route of the thoroughfare T2 starts at the Bastion 23, passes the Emir Abdelkader High School, crosses the Sidi Abderrahmane Road and the Hadad Abderzak Boulevard, to end near the Palais du Dey. An arrangement of overlapping platforms was adopted for the Hadad Abderzak section, a stepped boulevard which provides a link between the old region of the Casbah and the

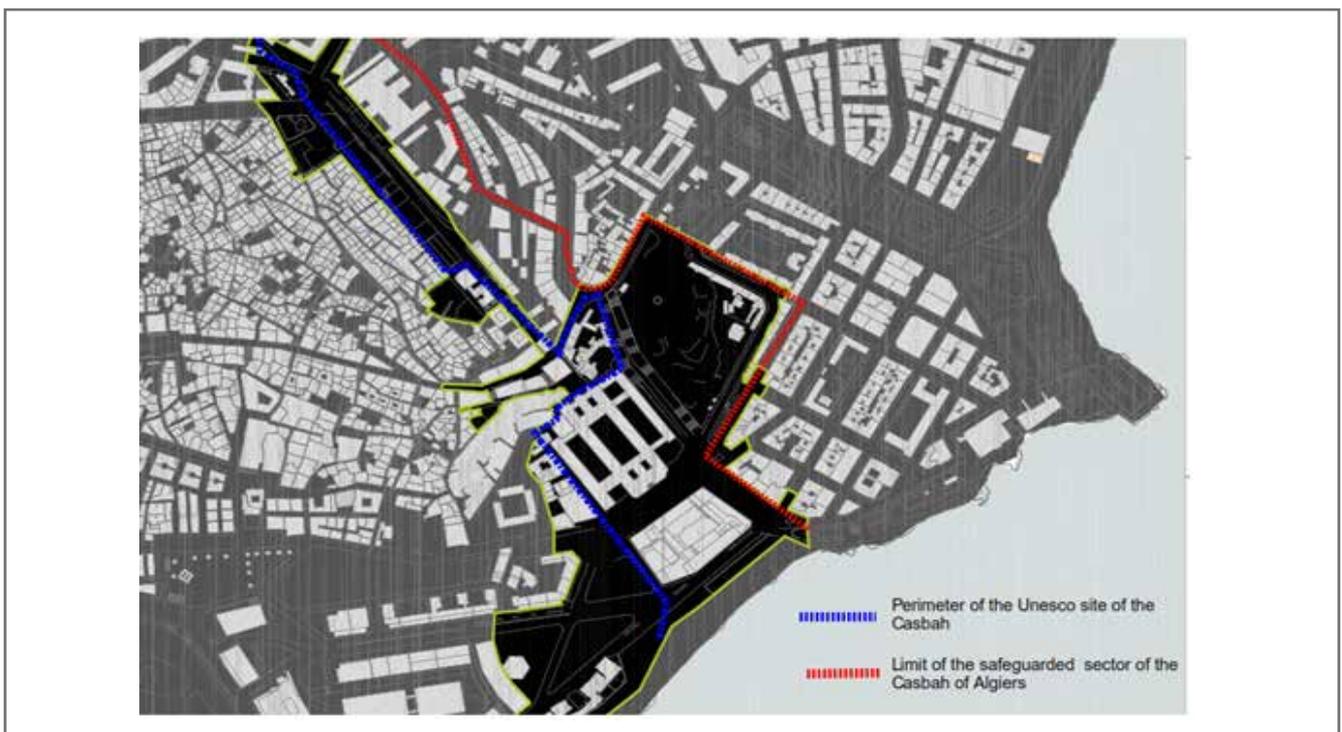


Figure 4.- Plan of the location of the Thoroughfare T2: Palais de Dey-Bastion 23. Source: PDAU of Algiers. Parque Expo.

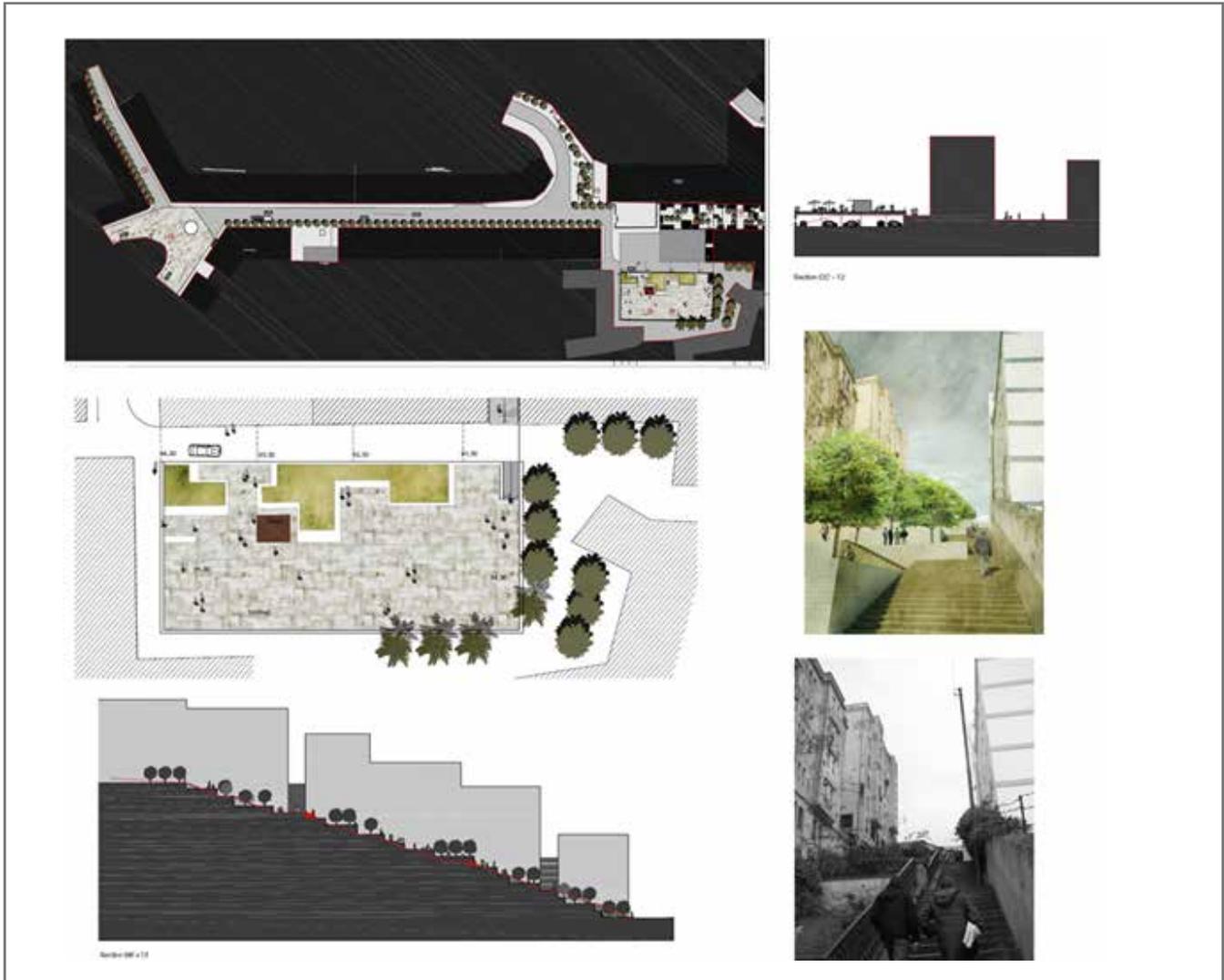


Figure 5.- Development project for Hadad Abderzak Boulevard. Source: PDAU of Algiers Parque Expo.

European district of Bab El Oued, in the west. In addition, opposite the Aissat Idir Hospital, on an empty plot of land, once the site of derelict housing but used, today, as an unofficial carpark, the project proposes to build a semi-underground carpark with a surface area of 1500m², whose terraced roof, dotted with kiosks, is to be used as a promenade or belvedere [Figure 5].

A critical evaluation of the project for the thoroughfare T2 in relation to the question of coordination between the PDAU and the PPSMVSS.

An examination of the project proposals, laid down in the PDAU, for the development and regeneration of the Palais de Dey – Bastion 23 thoroughfare, has allowed us to draw the following conclusions:

1) Aware that they are working in an area steeped in layers of history, and that every intervention must recognise and evaluate the existing heritage, the Parque Expo team based their project on the concept of the contextual relationship

between the public spaces, and on the requalification of the perceptual vision as the composition principle of the urban form (PDAU, CPS 2010: 12). However, the issue of establishing and ensuring a morphological link between the safeguarded sector of the Casbah and the rest of the town has never been clearly expressed. Given that the zone of development for the thoroughfare T2 essentially overlaps the line of ancient pre-colonial, and colonial, fortresses, the planning, and the connection with the European district of Bab Al-Oued, is still problematic.

2) The Legislative Framework

Most of the development work, for the thoroughfare T2, focuses on four subsectors within the safeguarded sector of the Casbah [Figure 6]:

- Subsectors USS1 and USS3C, which are part of the site inscribed on the UNESCO World Heritage List.
- Subsectors USS2 and USS3B, which are protected as part of the conservation plan PPSMVSS.

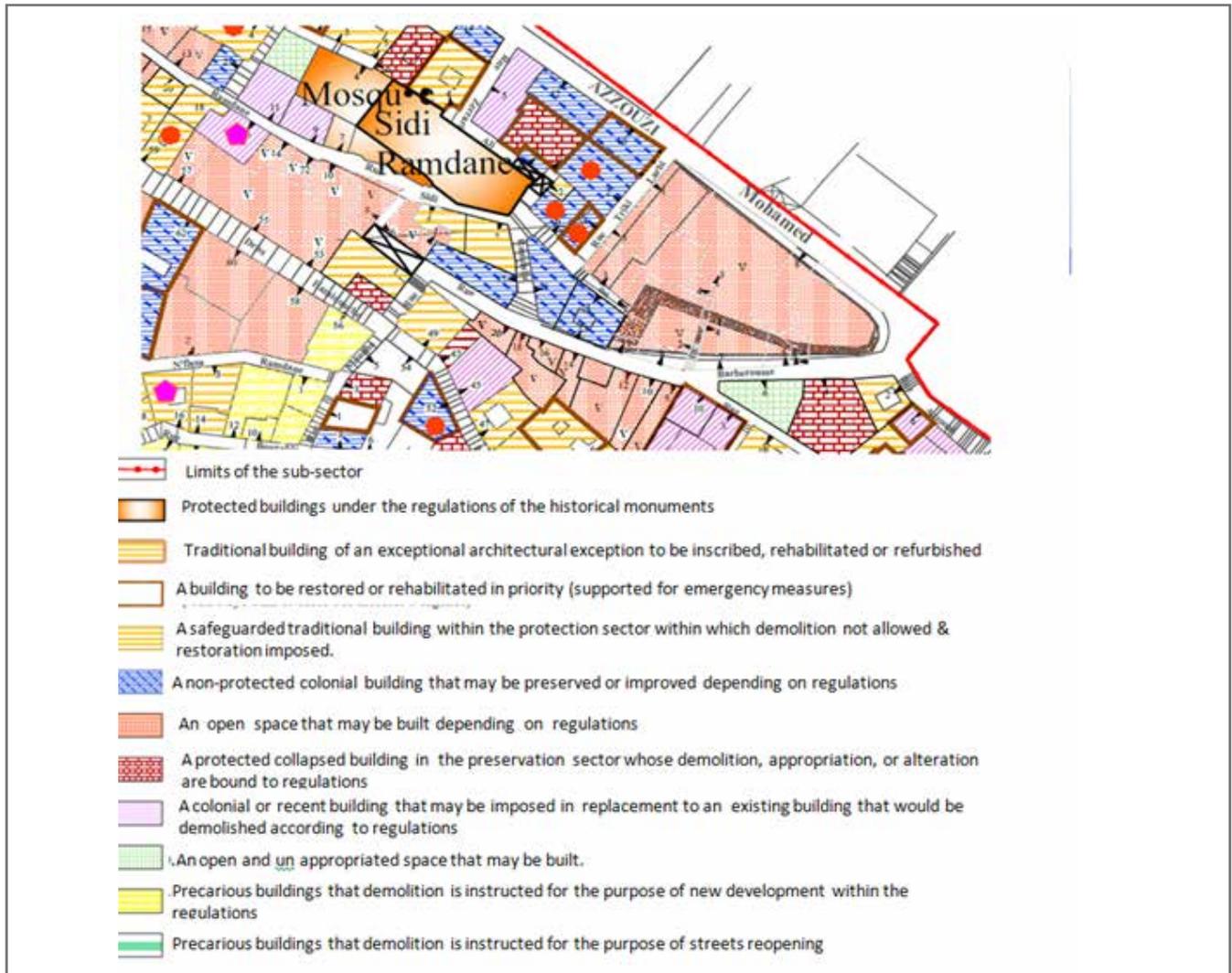


Figure 6.- Extract from PPSMVSS USS1. Source: PPSMVSS Casbah of Algiers.

Hence, the areas concerned with the development proposals, put forward in the PDAU, do not fall within its jurisdiction, but within that of the PPSMVSS. This constitutes the main legal difficulty posed by the PDAU and it could seriously hamper the implementation of the project. Moreover, the whole controversy resides in the fact that the PDAU recognises, in article N°42, that, within the safeguarded sector, the rules laid down by the PPSMVSS take precedence over its own but it, nevertheless, proposes development projects inside this area, without any regulatory, or technical, justification.

Consequently, this situation has revealed a real problem of cumulation and conflict, engendered by an overlap of the regulatory requirements of the two documents, the PDAU and the PPSMVSS, which, legally, should not overlap, and whose regulations, concerning urban planning and the cultural heritage, have not yet managed to resolve the problems arising from this conflict of jurisdiction. In order to avoid an overlap in the regulations of the two plans, for the same zone, does the answer lie in the suspensive effect of the PPSMVSS within its own jurisdiction, and, if so, how can it be, legally, justified?

Moreover, do these questions reflect the need to examine the problem of coordination between the two legal documents (the PDAU/PPSMVSS) relating to this historical territory (Boukader and Chennaoui 2019)? If so, would such an analysis lead to a solution that favours better regulatory coordination, and would it ensure greater consistency and harmony between the regulations and their terms of reference?

3) Choice of project and technical quality of the interventions.

With regard to the proposed interventions, it can be seen that the projects put forward by Parque Expo are in direct conflict with the regulations of the PPSMVSS. In fact, this is evident in the following cases:

a) In the case of the car park and belvedere on Hadad Abderazak Boulevard, it is to be built on a site which was once occupied by 17 buildings, which have collapsed today, but whose outlines are still known [Figure 6]. It should be noted here that the regulations of the PPSMVSS, for this zone, which is part of subsection USS1, are the following:

- Traditional houses N°2 and N°4 must be protected as part of the PPSMVSS and their restoration is mandatory.
- Building N°6: an empty plot, resulting from the collapse of the building, designated for construction.
- For the 14 demolished buildings, situated between Berbarousse Road, Triki larbi Road and Azzouzi Mohamed Road, the PPSMVSS specifies that they should be rebuilt according to the regulations.

By erecting this new building in the sector USS1, essentially composed of pre-colonial structures, it is clear that the new project has failed to recognize the requirements laid down in articles 1.5.1 and 1.9, concerning the need to respect alignment, or, in other words, the formal continuity expressed, in the PPSMVSS, as “the line of development of the urban envelopes along roads” (PPSMVSS regulations 2009, p.18). Moreover, the restoration of the traditional structure of these residential buildings is strongly recommended in the development guidelines defined in the regulations of the PPSMVSS (PPSMVSS regulations 2009: 173).

b) Similarly, the proposal to insert, into the organic fabric of the Casbah, a rectangular structure of more than 50m long and 28m wide, with a flat terrace, is non-compliant with article 1.6 concerning the respect of contours and the need to reconstruct the gradient of the sloping terraces, which is one of the fundamental characteristics of the Casbah.

c) The failure to rebuild on the empty plot, resulting from the complete collapse of building N°6, is a breach of article 1.4 (PPSMVSS regulations 2009: 17), which makes reconstruction of the site mandatory in order to mitigate the risk of collapse of building N°2, which is object of restoration.

d) The introduction of vegetation (trees) as street furniture,

in the alleys created by the development project, is in conflict with the typology of the public spaces, especially of the streets and alleyways, because, in this pre-colonial part of the Casbah, elements of vegetation were to be found inside, rather than outside, the houses and palaces.

The Thoroughfare T4 « La Promenade de la Mémoire » : Ouridah Medad Boulevard.

The thoroughfare T4, known as « La Promenade de la Mémoire » is an important structural element in the town of Algiers, serving, on the one hand, as a divide between the pre-colonial Casbah and nineteenth century Algiers, and, on the other, as a road, ensuring a link between the upper and lower parts of the town.

The development project for thoroughfare T4 (Ouridah Medad Boulevard) has set the following targets (PDAU CPS 2010: 3.4.):

- To rehabilitate three specific facilities which can be found along its length: the Palais de Dey (listed pre-colonial heritage), Bouzerina Market and the Algerian National Theatre (Colonial buildings).
- To develop the concept of the promenade extending its importance, and its use, beyond the district, to the town.
- To reinforce the National Theatre in Algiers as a cultural centre.

The “Promenade de la Memoire” thoroughfare follows a sloping route, starting at the Debih Cherif Road, near the Palais de Dey, in the upper part of the town, passing through Ouridah Medad Boulevard (a stepped road) to end in Mohamed Touri Road, where the building of the Algerian National Theatre can be found (ANT) [Figure 7].

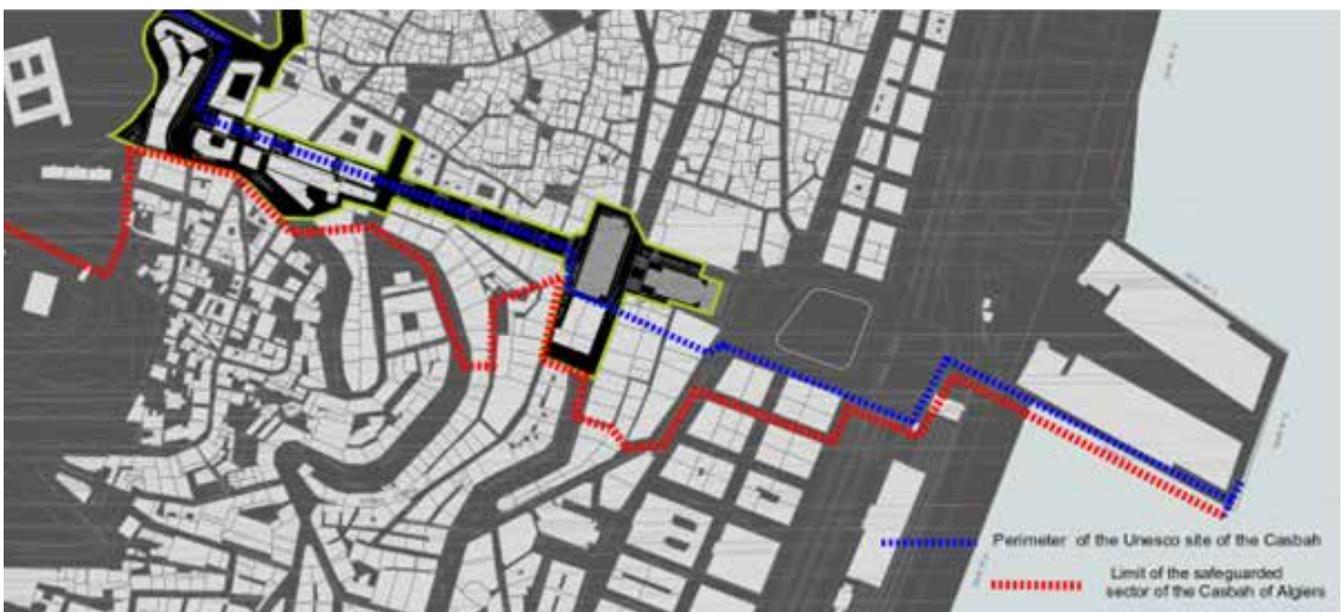


Figure 7.- Plan of the location of thoroughfare T4. Source: PDAU of Algiers Parque Expo.

A study of this route has shown that this thoroughfare suffers from the same problems as the thoroughfare T2. These include a lack of upkeep of public places, an absence of street furniture, run-down or badly preserved facades of the buildings along its length and precarious constructions, to name just a few. Hence, the regeneration project

proposed for the upper part of this thoroughfare includes the demolition of the informal dwellings, as well as those buildings of little value, to the north of Debih Cherif Road, and the construction of a five- storey hotel on the plot bordered by Mohamed Berain Road, near the Palais de Dey [Figure 8].



Figure 8.- Redevelopment proposal for the Ouridah Medad Boulevard. General plan of the public space . Source: PDAU of Algiers. Parque Expo. Pre-project summary, 2009.

A critical evaluation of the project for the thoroughfare T4 in relation to the question of coordination between the PDAU and the PPSMVSS

A study of the different measures proposed by the two legal documents, the PDAU and the PPSMVSS, shows that several conflicts exist between their objectives and the development proposals for this contact zone.

—The objectives of the intervention

In addition to the conservation, and restoration, of those traditional urban structures that have historic and symbolic value, which remains the primary and fundamental objective of its undertakings, the conservation plan of the

Casbah (PPSMVSS), aims to reintegrate the Casbah into the urban fabric of the town of Algiers. It plans to achieve this through two types of measures: socio-economic and spatial.

a) The socio-economic measures address the enhancement of services and the revival of commercial activities related to craftsmanship and the tertiary sector, as well as the establishment of modern activities (cultural facilities) across the town.

b) The measures of a spatial nature that are of interest to our research include the development of the said zone between the Casbah and the nineteenth century town of Algiers both in the south and to the north of the town.

For its part, the development project for the thoroughfare

T4 (Ouridah Medad Boulevard) aims to regenerate the stepped boulevard, Ouridah Medad, by developing a link between the upper and lower parts of central Algiers, as well as to rehabilitate the three unique facilities situated along its length: the Palais de Dey; the Bouzerina Market and the Algerian National theatre.

— *Legal framework*

Furthermore, the perimeter of the thoroughfare T4, first drafted in the original architectural plans, corresponded, almost entirely, to the perimeter of the intervention area, defined by the PPSMVSS, as a homogeneous “divide” [C2] between the traditional urban fabric and the European district of Isly. However, VRD records show a second perimeter, appearing on all the charts in the pre-project summary, which was very different from the first. This second perimeter is bordered in the west by Debih Cherif Road and only includes the part of the Ouridah Medad Boulevard from the front of the buildings to the Bouzerina market. Like thoroughfare T2, thoroughfare T4 is located almost entirely within the safeguarded sector of the Casbah and, as such, falls under the jurisdiction of the PPSMVSS. This constitutes another case of cumulation and conflict, caused by an overlap of the perimeters of the two documents, the PDAU and the PPSMVSS, which, legally, should never overlap [Figure 7].

— *The choice of project and the technical quality of the interventions*

The third element of disagreement concerns the development recommendations, and the project choices, laid down in the two documents, for the thoroughfare T4.

The PPSMVSS, for its part, recommends development measures to regenerate this transition zone, linking the traditional fabric of the UNESCO site of the Casbah with the colonial fabric of nineteenth century Isly, in the town of Algiers. The PPSMVSS recommends:

- A restoration project and classification proposal for Bastion VIII, including the redevelopment of its surrounding area into public spaces, the restitution of a part of its ramparts and its moats, and its appropriation for commercial activity.
- Redevelopment of the empty spaces to be found on Oussadi Road, an inroad into the densely populated district, through the introduction of cultural and leisure facilities.
- The regeneration of Rabah Riah Street by developing artisanal and commercial activities and by the removal of informal vendors.

In contrast, with the exception of the project to construct a hotel to the north of Debih Cherif Road, the main part of the regeneration project for the thoroughfare T4, as laid down

in the preliminary reports of the PDAU, consists of the rehabilitation of Ouridah Medad Boulevard by enlarging its steps, renovating its road surfaces and restoring the fronts of those houses overlooking the boulevard.

However, it should be noted that, whilst approving the concept to renovate the town by regenerating its structural arteries, in our opinion, to reduce the intervention project, on the Ouridah Medad Boulevard to a simple operation of renovating the road surfaces and the facades, as is presented in the pre-project summary, is unsatisfactory.

In addition, the project proposal, put forward by the Parque Expo group, to recuperate (through demolition and reconstruction) an area of poor-quality housing, to the south of the Debih Cherif Road, excludes the strategic, empty space, adjacent to the Casbah, within Bab Djedid. Since this area contains ruins of Bastion VIII and a fragment of the pre-colonial, Turkish enclosure of the town, this proposal is absolutely unjustified .

To reintegrate, therefore, the district of the Casbah into the town of Algiers, or, more precisely, to reduce the conflict between the pre-colonial fabric and the nineteenth century town, must, imperatively, in our opinion, hinge on a redefinition of the buffer zone between the two entities. This must exceed the intrinsic space occupied by the Ouridah Medad Boulevard, and by the homogenous zone C2, defined in the conservation plan, since such a morphologic criterion cannot, alone, incorporate all the issues relating to the boundaries of the two differing urban fabrics.

Furthermore, the connection between the two urban fabrics must be defined by a new, flexible perimeter where the Ouridah Medad Boulevard serves as the backbone on which all the strategic points, within the two entities, are connected, on both sides, by one structural artery. These places, or strategic points, depending on land availability, will be assigned for public use which, once connected, will serve as anchor points linking the two entities together.

Conclusion

A study of both the written, and graphic, documents of the PDAU, shows that, for the first time, in Algeria, the question related to the protection of the cultural heritage has been treated with such importance by an instrument for urban management and development.

In fact, in the new plan, the cultural heritage plays an important role in the process of management, and sustainable development, laid down for the Wilaya of Algiers. The proposals of the PDAU, effectively, go beyond the classical and traditional view, which limits protection measures to the Casbah itself, or to a few isolated monuments, towards a more global and holistic approach, which encompasses, for the first time, the Casbah, the

nineteenth century, colonial urban fabric, the minor centres of small towns and villages on the outskirts, as well as the image of the Bay of Algiers

Moreover, the question of rehabilitating these historic centres has been addressed through a regeneration of all the principal streets and thoroughfares, and it is within this framework, that the PDAU has approached the question of the Casbah.

In fact, while respecting the recommendations, relating to the safeguard of the Casbah, laid down in the PPSMVSS, the PDAU has tried to address the issue of its reintegration into the Algiers agglomeration. To this end, it has put forward three project proposals: two for the thoroughfares along the periphery of the Casbah, and a third for the one running through its centre, from the citadel to the naval fishing port.

With the exception of the project concerning thoroughfare T3, which has been judged deleterious to the integrity of the site, and subsequently rejected by both the authorities and UNESCO, the other development proposals, for the thoroughfares T2 and T4, are limited simply to the renovation of road surfaces and the restoration of the facades of those buildings found along their routes. There are one or two new project proposals for the development of the empty spaces but these in no way clearly address the issue of coordination and morphological connection between the two different entities of the town: the Casbah and the nineteenth century town of Algiers.

Furthermore, it can also be seen that the site, relating to the two project proposals, comes wholly under the jurisdiction of the PPSMVSS. The PDAU neither addresses this question nor clarifies the implementing regulations for the project proposals, and under whose jurisdiction they will be managed. Does this mean, then, that the application of the regulations laid down in the PPSMVSS, should be suspended, or constrained, within an area which, by rights, falls under its own jurisdiction? This denotes a real problem of coordination between the two documents of urban planning (PPSMVSS and PDAU), especially since the solutions laid down in the project proposals are in contradiction with the recommendations of the PPSMVSS.

In addition, given the importance of the buffer zone as an extra ring of protection around the UNESCO site, the question of its boundaries deserves, in our opinion, further reflection. It is also necessary to define the criteria by which the authorized interventions, around the safeguarded sector, can be controlled, to allow for a better protection of the site, and its integration into the urban agglomeration.

Acknowledgements

We thank the ETAP and LVAP laboratories and the DGRSDT for the support of the researchers.

Notes

[1] PDAU: acronym The Master Plan for Development and Urban Planning.

[2] Several measures have been put forward in the safeguard plan, including the dedensification of the urban fabric, and improvement in the living, and working conditions of the population; improved access to the Casbah with better traffic control both within the perimeter of the site and with the rest of the town; the re-establishment of spatial, and visual, unity between the different districts of the Casbah and a requalification of its relation with the sea etc...Refer to all the measures and guidelines recommended in the Guidance Report: PPSMVSS, CNERU, Final phase, Algiers, 2009, 172.

[3] In the PDAU, the strategy for development in the Wilaya of Algiers, over the next twenty years, has been divided into four main stages in order to ensure a gradual execution of all the structural projects, according to priority, with a view to establishing the territorial model which will, thus, contribute to the future development of Algiers. The four different stages are as follows: 2009-2014: the Enhancement Phase; 2015-2019: The Redevelopment Phase for the Bay of Algiers; 2020-2024: The Requalification Phase for the Peripheral area; 2025-2035: The Consolidation Phase.

[4] The measures proposed for this stage have been delayed, due mostly to budgetary difficulties, resulting from the precarious economic conditions (fall in the price of petrol) in the country since 2013.

[5] This is true, especially since this space is indicated in the development project as an area connected to the Casbah. See file "Promenade de la Memoire"; general plan of the public space in the pre-project summary, chart N°L02 22E 00PAY.AP. PL 001.B.1 Parque Expo PDAU Algiers 2009.

References

- BANDARIN, F., & VAN OERS, R. (2012). *The Historic Urban Landscape: Managing Heritage in an Urban Century*. Chichester: Wiley-Blackwell.
- BANDARIN, F., & VAN OERS, R. (2015). *Reconnecting the City The Historic Urban Landscape Approach and the Future of Urban Heritage* Chichester: Wiley-Blackwell.
- BOUKADER, M., & CHENNAOUI Y. (2019). Evaluation of the actual protection zone of the UNESCO site Casbah of Algiers: current inconsistencies, and need to preserve its integrity. *Ge-Conservacion*, 15: 39-49. <https://doi.org/10.37558/gec.v15i0.547>.
- BOUSSAA, D. (2012). The Casbah of Algiers, in Algeria; From an Urban Slum to a Sustainable Living Heritage, in *American Transactions on Engineering & Applied Sciences*, 3 (1). Online Available at <http://TuEngr.com/ATEAS/V01/335-350.pdf>.
- C.N.E.R.U. (2010). *PSMVSS de la Casbah d'Alger, Règlement*, Alger. Final Edition.

- CONZEN, M.R.G. (1966) 'Historical townscapes in Britain: a problem in applied geography', in House, J.W. (ed.) Northern Geographical Essays in Honour of G.H.J. Daysh, Newcastle upon Tyne: Oriol Press.
- CRESTI, F. (1993). *Contribution à l'histoire d'Alger*. Rome: Centro Analisi Sociali Progetti.
- DRISS, N. (2005). "Monde en marge et identité urbaine. La Casbah d'Alger où le refuge des exclus." *Dans Habiter le patrimoine, enjeux- approches - vécu*, de Maria Gravari-Barbas. Rennes: Presses Universitaires de Rennes, 93- 109.
- LESBET, DJ. (1985). *La Casbah d'Alger Gestion Urbaine et Vide Social*. Algiers: OPU.
- LESBET, D. J. (2006). "Alger: habiter l'Indépendance." *La pensée de midi*, 18: 21-30. www.cairn.info/revue-la-pensee-de-midi-2006-2-page-21.htm.
- C.N.E.R.U. (2010). *PPSMVSS de la Casbah d'Alger, Règlement*, Alger. Final Edition.
- CHAOY, F. (2009). *Le patrimoine en question, anthologie pour un combat*. Paris: Le Seuil.
- FERNANDEZ BACA, R. (2013). "Impact analysis methodology in historic cities, case of Seville", in *International, meeting on contemporary architecture in historic cities*. Final Rapport, Seville, Unesco.
- FEILDEN, B. M. and JOKILEHTO, J. (1998). "Management guidelines for World Heritage Cultural Sites". Rome: ICCROM.
- GABRIELLI, B. (2010). Urban planning challenged by historic urban landscape, in Unesco, ed. *Managing Historic Cities*. World Heritage Papers 27. Paris: UNESCO.
- GABELLINI, P. (2008). "Un progetto urbanistico per la città storica", *La città storica contemporanea, Ferrara: Urban Center Bologna*, Edisai, 94-98.
- GAILLARD, B & RODWELL, D. (2015). The Governance of Urban Heritage, *The Historic Environment: Policy & Practice*, 6(1): 16-40.
- GASPARRINI, C. (2001). 'Strategie, regole e progetti per la Città storica / Strategies, rules and projects for the historical city', *Urbanistica*, 116: 93-116, 238-241.
- HADJRI, K. AND OSMANI, M. (2004). The spatial development and urban transformation of colonial and postcolonial Algiers, in *Planning Middle Eastern Cities: An Urban Kaleidoscope*, London, Routledge, 29-55.
- ICOMOS (1975). The declaration of Amsterdam. <https://www.icomos.org/en>.
- ICOMOS (1987). Charter for the Conservation of Historic Towns and Urban Areas (The Washington Charter). <https://www.icomos.org/en>
- ICOMOS (2011). The Valletta Principles for the Safeguarding and Management of Historic Cities, Towns and Urban Areas, <https://www.icomos.org/en>
- GIOVANNONI, G. (1995). L'urbanisme face aux villes anciennes. Town planning face to ancient cities, Paris.
- NEYRET, R. (2008). "Du monument isolé au "tout patrimoine"", *Géocarrefour*, 79(3): 231-237. <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.746>
- NORA, P. (1986). *Les Lieux de mémoire*; Paris. Gallimard, abridged translation (1998), *Realms of Memory*, Columbia University Press.
- NORBERG SCHULZ C. (1980). *Genius Loci, Towards a Phenomenology of Architecture*, New York Rizzoli.
- PARQUE EXPO, (2011). PDAU of Algiers. Guidelines, Parque Expo, Algiers.
- PARQUE EXPO, (2010). PDAU d'Alger, cahier des prescriptions spéciales (livrable 2. Transversale N° 4. Aménagement de la Promenade de la Mémoire. Prescriptions Techniques pour l'élaboration Dossier de consultation d'Entreprises.
- PARQUE EXPO (2010). PDAU D'Alger, Cahier des prescriptions spéciales Livrable 2. Aménagement des Transversale 1 Et 2 | Prescriptions Techniques. Avant projet sommaire, BC L2.
- RODWELL, D. (2007). *Conservation and Sustainability in Historic Cities*, Oxford Blackwell.
- ROSSI, A3 (1981). *L'architecture de la ville*. (Trad.franç). Paris, Equerre.
- SALMERON ESCOBAR, P. (2013). "Impact evaluation: the case of Seville", in *International, meeting on contemporary architecture in historic cities*. Final Rapport, Seville, Unesco.
- SPIGAI, V. A.LEVY. (1989). *Il Piano e l'architettura della città*. Venezia: Cluva.
- SPIGAI, V. (1995). *L'architettura della non città, ridisegnare le periferie*. Milano: Città Studi.
- SIRAVO, F. (2011). Conservation Planning The Road Less Traveled, in THE GCI NEWSLETTER VOLUME 26 • NUMBER 2 • FALL 2011.
- UNESCO (2011). World Heritage Committee, Recommendation sur le paysage urbain historique, 27 mai 2011, <http://whc.unesco.org/uploads/activities/documents/activity-638-58.pdf>.
- UNESCO (2009). WHC-09/33.COM/20 Séville, 20 juillet 2009, (décision : 33 COM 7A.2.6).
- UNESCO, WHC-33. COM 7 B .52 Casbah d'Alger, WHC-35 COM 7 B .47, Casbah d'Alger, WHC-37 COM 7 B .46, Casbah d'Alger, WHC-39 COM 7 B .46, Casbah d'Alger <https://whc.unesco.org/en/list/565/>.

Nota

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Autor/es

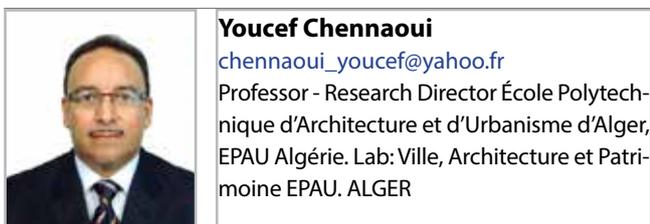
Artículo enviado el 20/09/2021

Artículo aceptado el 12/04/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1058>

Dr Arch. Mohamed Boukader is an associate professor at the Institute of Architecture and Urbanism (I.A.U). , Department of Built and Urban Cultural Heritage (D.P.A.U), Saad Dahleb University Blida 1. Algeria. He is a research member at the ETAP Laboratory "Environment and Technology for Architecture and Cultural Heritage", at the same Institute. He was appointed in 2006, as a graduate architect of historical heritage for the Ministry of Culture of Algeria. In 2020, he defended a doctorate in the protection of historic sites at the EPAU of Algiers, on the theme of morphological control in buffer zones around historic sites classified as World Heritage. He is now a member of the teaching team of the Master's "Architecture and Cultural Heritage" at the Institute of Architecture and Urbanism (I.A.U). "Saad Dahleb" Blida 1 University.



Prof .Dr Youcef Chennaoui is a full professor at the EPAU (Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme) of Algiers (Algeria). He is a research director at the LVAP (Laboratoire : Ville – Architecture et Patrimoine) at the EPAU of Algiers. Prof .Dr Youcef Chennaoui was nominated since 2006, as a qualified architect of historical heritage for the Ministry of Culture of Algeria. Head of "the protective and enhancement plan of the archaeological site of Tipasa (Algeria)" (world heritage). Prof .Dr Youcef Chennaoui is an active member of the UNESCO (Bureau Maghreb). He has published more than 50 papers in a lot of international seminar's proceedings and international reviews. He has a lot skills and expertise in cultural landscapes, history of architecture, architecture aesthetics, heritage sustainability and heritage management.

Monográfico:

**III Jornadas Científicas Internacionales sobre Investigación
para la Conservación del Patrimonio Cultural**

Del 10 al 11 de diciembre, Quito, 2020



Monográfico

III Jornadas Científicas Internacionales sobre Investigación para la Conservación del Patrimonio Cultural

Del 10 al 11 de diciembre, Quito, 2020

Índice

	Páginas
Presentación	122
Javier Becerra Luna, Martha E. Romero, Rocío Ortiz, Mónica Moreno	
<i>Precipitación de carbonatos inducida microbiológicamente como potencial estrategia en la restauración de estructuras patrimoniales</i>	224
Erick Ortega-Villamagua, Mariana Arcos, Martha Romero, Carlos Vasquez, Alex Palma-Cando	
<i>Levantamiento magnético en un sitio de interés arqueológico ubicado en Perucho provincia de Pichincha, Ecuador</i>	235
Carlos Vásquez-Mora, Andrés Mosquera-Perugachi	
<i>Color study of historic silks</i>	246
M. L. Vázquez de Ágredos Pascual, R. Herráez-Hernández, P. Campíns-Falcó, L. Rojo Iranzo and E. Alba Pagán	
<i>Red color characterization in several Roman frescos and paintings by in situ and remote LIBS, LIF and Raman Spectroscopies</i>	257
Roberta Fantoni, Violeta Lazic, Francesco Colao, Salvatore Almaviva, Adriana Puiu	
<i>Propuesta metodológica para el análisis estilístico y técnico de imágenes de vestir de bulto redondo. Aplicación a una imagen del Siglo XVII</i>	270
David Triguero Berjano	
<i>Mas allá de los primeros retratos fotográficos plateados: Estudio mediante microscopía SEM-EDX de dos daguerrotipos</i>	282
Alba Guerrero García	
<i>La Piedra fundacional de la iglesia de San Blas (Cuenca, Ecuador). Diagnóstico interdisciplinar y orientaciones de conservación</i>	292
María del Cisne Aguirre Ullauri, Diana Carolina Cordero Mendieta, Luis Mario Almache Sánchez	
<i>Review of satellite resources to assess environmental threats in rammed earth fortifications</i>	309
Mónica Moreno, Rocío Ortiz, Pilar Calderón	



Presentación

III Jornadas Científicas Internacionales sobre Investigación para la Conservación del Patrimonio Cultural

El actual contexto de incertidumbre económico-social y medioambiental exige fomentar la resiliencia de nuestro Patrimonio Cultural como principal vía para su salvaguarda. Gracias al progreso tecnológico y a la implementación de nuevas técnicas de estudio en el campo de la conservación, se están desarrollando nuevas metodologías de estudio tendentes a mejorar el conocimiento tanto de los propios Bienes Culturales como de su vulnerabilidad y los riesgos a los que están sometidos.

Estas Jornadas y el número especial que a continuación se presenta han estado sustentados por varios proyectos de investigación cuya finalidad es la aplicación de la inteligencia artificial y nuevas técnicas de diagnóstico para favorecer la conservación del Patrimonio Histórico:

- ART-RISK: Inteligencia artificial aplicada a la conservación preventiva de edificios (BIA2015-64878-R), financiado por MCIN/ AEI /10.13039/501100011033/ FEDER. Premio Europa Nostra 2021 en la categoría de Investigación.

- FENIX: Inteligencia artificial y nuevas tecnologías aplicadas a la prevención y gestión de incendios y desastres naturales en patrimonio cultural mueble e inmueble (PID2019-107257RB-100), financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033.

- Conservación preventiva frente a rehabilitación de urgencia del Patrimonio Arquitectónico mediante Investigación sobre Riesgos y Vulnerabilidad frente al Cambio Climático, desastres naturales y antrópicos (UPO-03), financiado por la Consejería de Fomento y Vivienda. Secretaría General de Vivienda de la Junta de Andalucía.

- Diagnóstico y Catalogación del Patrimonio Arquitectónico Andaluz mediante Análisis de Riesgos y vulnerabilidad (UPO.20-01), financiado por la Consejería de Fomento e Infraestructuras de la Junta de Andalucía.

- Resilient Tourism: Nuevas tecnologías aplicadas a la prevención y gestión de emergencias en patrimonio cultural y respuesta ante emergencia en condiciones de pandemia (PYC20-RE-034 UPO), financiado por la Consejería de Economía y Conocimiento de la Junta de Andalucía.

Este número especial titulado “Estudios sobre Patrimonio Cultural: Vulnerabilidad, Riesgo y Caracterización” incluye algunos artículos de los participantes de las Jornadas, así como de otros autores invitados para exponer al lector ejemplos del uso de nuevas metodologías para la preservación de nuestros Bienes Culturales. En este sentido, la ciencia y la tecnología se ponen al servicio de la conservación del Patrimonio Cultural como herramientas para conocer, investigar y proteger al conjunto de bienes, muebles e inmuebles, que lo componen.

Finalmente, quisiéramos agradecer sinceramente el trabajo de los autores y ponentes, el Comité Organizador y los revisores anónimos, sin cuyo esfuerzo este número especial no hubiera sido posible.

* Si bien se toman todas las precauciones para garantizar la integridad y la calidad de esta publicación y la información aquí contenida, los editores, editorial y autores no asumen ninguna responsabilidad por ningún daño a la propiedad o personas como resultado del funcionamiento o uso de esta publicación y/o la información aquí contenida.

* Los editores declaran que no tienen conflictos de intereses con respecto a la publicación de este número especial.

Javier Becerra Luna, Martha E. Romero, Rocío Ortiz, Mónica Moreno

Universidad Pablo de Olavide

Precipitación de carbonatos inducida microbiológicamente como potencial estrategia en la restauración de estructuras patrimoniales

Erick Ortega-Villamagua, Mariana Arcos, Martha Romero, Carlos Vasquez, Alex Palma-Cando

Resumen: En los últimos años, la precipitación de carbonatos inducida microbiológicamente ha demostrado ser una potencial herramienta de restauración de piezas arquitectónicas y esculturas alrededor del mundo con buenos resultados a corto y largo plazo. En este trabajo se realizaron incubaciones partiendo de cepas bacterianas locales de *Bacillus subtilis* previamente aisladas e identificadas para comprobar la capacidad de estas cepas bacterianas en la producción de carbonato de calcio sobre muestras de roca carbonática. Los cristales obtenidos fueron analizados a través de FT-IR, SEM-EDS y DRX. Los resultados muestran la formación de películas estables de bioprecipitado de calcita, el polimorfo más estable de carbonato de calcio, sobre las muestras de rocas demostrando así la posibilidad de utilizar cepas no patogénicas y medios económicos para restaurar, prevenir o disminuir el futuro deterioro del patrimonio cultural.

Palabras clave: precipitación de carbonatos inducida microbiológicamente, restauración, conservación, patrimonio cultural, calcita

Microbiologically induced carbonate precipitation as a potential strategy in the restoration of heritage structures

Abstract: In recent years, microbiologically induced carbonate precipitation has become a potential tool for restoring architectural pieces and sculptures around the world showing good results in the short and long term. In this work, isolated and identified *Bacillus subtilis* local strains were incubated to verify the capacity of these bacterial strains in the production of calcium carbonate on carbonate rock samples. The crystals obtained were analyzed through FT-IR, SEM-EDS, and DRX. Results show the formation of a stable layer of bioprecipitated calcite, the most stable polymorph of calcium carbonate, on the carbonate samples thus demonstrating the possibility of using non-pathogenic strains and economic means to restore, prevent or reduce the future deterioration of cultural heritage.

Keywords: microbiologically induced carbonate precipitation, restoration, conservation, cultural heritage, calcite

Introducción

El problema de la conservación de monumentos históricos requiere un estudio preciso de los diferentes agentes medioambientales, físico-químicos, aéreos, biológicos y antropológicos que contribuyen al deterioro presente y futuro de las piezas expuestas al aire libre o aquellas resguardadas (Ortega-Villamagua, Gudiño-Gomezjurado and Palma-Cando 2020). Se conoce que la ciencia de la conservación se originó tras las trágicas inundaciones que devastaron Florencia y Venecia en 1966 (Giorgi *et al.* 2010). La restauración de una construcción histórica representa un gran reto para el restaurador, puesto que el criterio tomado para la correcta restauración puede

ser un problema, surgiendo preguntas como: ¿Se deben restaurar totalmente las partes faltantes?, ¿Cuánto se puede intervenir e interpretar?, ¿Qué material o técnica se debe implementar?, etc (Carrió and Marcos, 2013). Sin embargo, las normativas que rigen la restauración, que han sido propuestas y adoptadas por UNESCO en 1972, tienen como finalidad proteger, conservar y transmitir a futuras generaciones la apariencia física externa e interna de una pieza tratada, manteniendo cambios imperceptibles. Estas normativas son requeridas puesto que, el daño irreversible del patrimonio cultural representa una pérdida social, económica y cultural irremplazable. Jokilehto en 2005 define al patrimonio cultural como: "todo cuerpo de signos materiales, ya sean artísticos o simbólicos, que el

pasado ha entregado a cada cultura y, por lo tanto, a toda la humanidad. Como parte constituyente de la afirmación y el enriquecimiento de las identidades culturales, como legado de toda la humanidad, el patrimonio cultural da a cada lugar particular sus características reconocibles y es el almacén de la experiencia humana. La preservación y la presentación del patrimonio cultural son, por tanto, una piedra angular de toda política cultural." (Jokilehto 2005).

La humanidad ha logrado entender y utilizar de manera efectiva ciertos mecanismos provistos por la naturaleza para resolver problemas específicos. Los microorganismos han sido empleados de manera beneficiosa en muchos campos, tales como: industria farmacéutica, comida, biorremediación, medicina, agricultura, manejo de residuos, etc. En los últimos años se ha reportado el uso de microorganismos como herramienta para la restauración de patrimonio cultural, principalmente en Europa (Ortega-Morales and Gaylarde 2021). Métodos convencionales como el uso de resinas, epóxidos, acrílicos y otros consolidantes tradicionales han sido aplicados en la conservación de edificaciones patrimoniales, sin embargo, estas presentan varias desventajas como: bajos rendimientos, baja adherencia, obstruyen la porosidad y dañan la estructura interna, además que pueden ser nocivos para el ambiente y el ser humano (Joseph 2021). Así, en las últimas décadas se ha propuesto la precipitación de carbonatos inducida microbiológicamente (PCIM) como una alternativa amigable con el ambiente y con mejores resultados a corto y largo plazo para la conservación y consolidación del patrimonio cultural (Soffritti *et al.* 2019). La PCIM es un proceso presente en una gran variedad de microorganismos. Algunas teorías establecen que las bacterias convierten el dióxido de carbono, urea u otras fuente de carbono en iones carbonato CO_3^{2-} y este reacciona con los iones de calcio Ca^{2+} adheridos a la superficie celular, de esta manera los cristales de carbonato de calcio (CaCO_3) son precipitados. Estos cristales, junto a sustancias poliméricas extracelulares (SPEs) son capaces de rellenar grietas y unir granos sueltos. Muchos estudios han demostrado que piezas anteriormente deterioradas mejoraron su consolidación y propiedades mecánicas al ser tratadas con PCIM (Camaiti, Borselli and Matteoli 1988). De manera general, la velocidad de precipitación de carbonato de calcio es una función lineal dependiente de la concentración de los iones CO_3^{2-} y Ca^{2+} . La supersaturación (S) es únicamente alcanzada cuando el producto de solubilidad K_{sp} es excedido por la concentración de $[\text{CO}_3^{2-}]$ y $[\text{Ca}^{2+}]$. La precipitación de CaCO_3 es favorecida con mayor nivel de supersaturación y definido por la Ecuación 1, (Al-Thawadi 2011).

$$S = \frac{[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]}{K_{sp}}$$

Durante el proceso de bioprecipitación, las partículas en suspensión, partículas de polvo y la misma bacteria pueden servir como sitios activos para la nucleación de calcita. La pared celular bacteriana generalmente se

encuentra cargada negativamente, por ende, es capaz de enlazar en su superficie cationes divalentes como Ca^{2+} o Mg^{2+} . Por ejemplo, múltiples especies de bacterias (*e.g.*, *Bacillus subtilis*) son capaces de promover la precipitación de CaCO_3 al convertir CO_2 en HCO_3^- a través de la anhidrasa carbónica (AC), enzima que cataliza la formación de ácido carbónico a partir de anhídrido carbónico o dióxido de carbono y agua (Pérez and García 2020). En mayor detalle el mecanismo de precipitación inicia con la disolución de CO_2 gaseoso en agua, para formar CO_2 acuoso (Ecuación 2). El CO_2 acuoso reacciona con H_2O para formar H_2CO_3 , justo durante esta reacción la AC juega su papel más importante al aumentar el coeficiente de hidratación del CO_2 en 10^7 veces (Ecuación 3). La ionización de H_2CO_3 genera HCO_3^- y H^+ (Ecuación 4). Bajo condiciones alcalinas HCO_3^- se ioniza para formar CO_3^{2-} y H_2O (Ecuación 5). La reacción continua hacia la precipitación de carbonato de calcio al enlazar los iones de Ca^{2+} a la superficie de la célula bacteriana (Ecuación 6). En presencia de Ca^{2+} los precipitados de carbonato son formados al reaccionar con CO_3^{2-} (Ecuación 7) los mismos que pueden consolidar material deteriorado en estructuras consideradas como patrimonio cultural [ver Figura 1] (Chaparro-Acuña *et al.* 2018; Zheng and Qian, 2020).

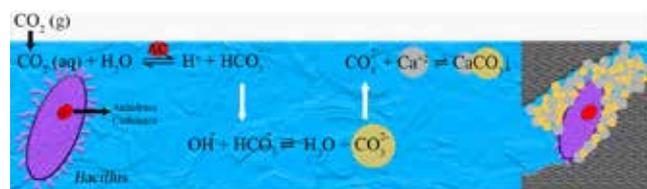
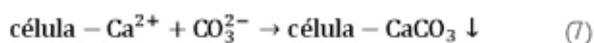
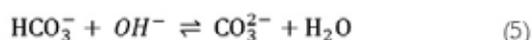
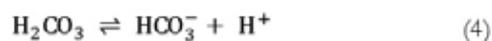
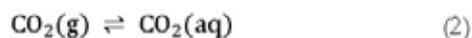


Figura 1.- Resumen gráfico de la carbonatogénesis bacteriana aplicado en grietas.

El carbonato de calcio puede precipitar como cualquiera de sus 6 polimorfos, sin embargo, las investigaciones reportan mayoritariamente la presencia de calcita, vaterita y aragonita, siendo estos los más termodinámicamente estables. Este proceso en un ambiente controlado puede ser utilizado para diferentes aplicaciones, tales como (i) mejorar de las propiedades mecánicas del concreto y su autorrestauración de grietas, (ii) eliminación de metales pesados, (iii) biocementación de arena y arcilla, (iv)

biorremediación de radionucleidos, (v) secuestro de CO_2 , y (iv) restauración y conservación de objetos históricos y culturales (Choi *et al.* 2020). Uno de los primeros estudios en considerar el uso de la precipitación de carbonato de calcio inducida microbiológicamente para la conservación y protección de edificaciones patrimoniales se realizó en París en los 90s (Le Métayer-Levrel *et al.* 1999). Ellos demostraron que las bacterias eran capaces de precipitar calcita sobre la superficie dañada de piedra caliza. Más tarde, se realizaron estudios en diferentes lugares del mundo incluidos Rumania, China, Alemania, España, Francia, Brasil, Colombia y Rusia, donde se ha probado la efectividad del método con diferentes géneros y especies bacterianas como, *Pseudomonas*, *Pantoea*, *Cupriavidus*, *Myxococcus xanthus*, *Bacillus* y otros (Ortega-Morales and Gaylarde 2021). Específicamente, los estudios realizados con *Bacillus subtilis* han demostrado capacidad de consolidar y restaurar muestras carbonatadas deterioradas mejorando sus propiedades mecánicas. Micallef *et al.* obtuvo resultados eficaces aplicando el tratamiento con *B. subtilis* sobre caliza deteriorada, la cual adquirió mayor resistencia al deterioro por sal y baja absorción de agua después del tratamiento. También se conservó la porosidad de la muestra a diferencia de los métodos convencionales (Micallef *et al.* 2016). Uno de los más recientes trabajos realizados con *B. subtilis* es el de Andreolli *et al.* donde demostraron que estas cepas tienen la capacidad de formar una capa consolidante sobre piedra caliza (Andreolli *et al.* 2020).

Un proyecto propuesto por el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural del Ecuador busca inicialmente restaurar una colección de esculturas denominado “Las Cuatro Estaciones” [ver Figura 2], talladas en mármol

blanco, e importadas en 1890, las cuales forman parte del patrimonio cultural del Ecuador. Agentes medioambientales y antropogénicos han contribuido al deterioro de estas piezas históricas [ver insertos en Figura 2]. Similares efectos negativos se evidencian en fachadas, murales, mausoleos, iglesias, etc., que se encuentran en todo el territorio ecuatoriano y que han sido declarados patrimonio nacional o patrimonio cultural de la humanidad (Peralta and Moya 2007). En este estudio, 2 cepas bacterianas locales se analizaron como posibles microorganismos bioformadores de carbonatos sobre muestras de rocas carbonáticas. La decisión del estudio y aplicación de *B. subtilis* se debe, en gran medida a 3 factores principales: (i) al ser una bacteria ampliamente estudiada y puesto que esta cepa no es patogénica (Piggot 2009) garantizamos la seguridad de quienes trabajaran con la misma, que en términos generales serán restauradores con poca o ninguna formación en microbiología, (ii) puesto que uno de los factores para el tratamiento de las piezas depende de si estas son micro o macro porosas y sabiendo que *B. Subtilis* mide entre 2 a 6 μm de largo y menos de 1 μm de diámetro podemos asegurar un máximo efecto de protección al trabajar con piezas que contengan poros mayores a 2 μm de radio (De Muynck *et al.* 2011), y (iii) este es un estudio inédito realizado en Ecuador y prueba por primera vez que se pueden utilizar cepas endémicas, las cuales están adaptadas a las condiciones ambientales (e.g., presión atmosférica, temperatura, humedad), para la bioprecipitación de CaCO_3 , reduciendo el tiempo de obtención de las bacterias además del costo total de restauración al no ser importadas. Los resultados obtenidos sientan las bases para la biorrestauración de patrimonio cultural en Ecuador con énfasis en las esculturas carbonáticas (e.g., mármol, travertino).



Figura 2. - “Las Cuatro Estaciones”, esculturas en mármol blanco. Palacio de la Circasiana, Quito.

Metodología

Todos los reactivos fueron obtenidos de casas comerciales. La incubación se realizó en Memmert Incubator Oven INB200 código: E208.0092. El recubrimiento de las cepas bacterianas se realizó en una cabina de bioseguridad (SterilGARD®) modelo: SG403A-HE de The Baker Company. La agitación de las muestras incubadas se realizó en un agitador alternativo 2506 de MaxQ™. El recuento de UFC se realizó en un contador de colonias CC-1 de BOECO. La esterilización se realizó en autoclave modelo 25x-1 de ALL AMERICAN. Los cristales se secaron en un horno eléctrico de convección OSK-95000 de OBAWA SEIKI. La espectrometría de infrarrojo se realizó en un espectrómetro de infrarrojo por transformada de Fourier FT / IR-4200 tipo A de JASCO, equipado con fuente de luz estándar, detector TGS, resolución 4 cm^{-1} , trabajando en una longitud de onda de $600\text{ a }4000\text{ cm}^{-1}$. Los difractogramas se obtuvieron en un difractor de rayos X D8-Advance de BRUKER. Las imágenes SEM-EDS se obtuvieron en un microscopio electrónico de barrido en tándem EDS, JEOL IT300 XMAN1 de Oxford Instrument utilizando alto vacío y condiciones de presión cambiantes según las muestras, detector / SED / LVSED / BED-C.

Dos cepas bacterianas etiquetadas como RTB-017 y JK-1, entregadas por la Universidad Central del Ecuador, fueron identificadas con bases en su morfología y pruebas bioquímicas. Entre las pruebas se utilizó tinción de Gram, test de citrato, reducción de nitrato, test de catalasa, test de rojo metilo y test de Voges-Proskauer. Finalmente, estas pruebas fueron comparadas con los resultados reportados en la bibliografía.

Medios de cultivo

El medio B4 modificado (B4M)(Márcia Aiko *et al.* 2011) se preparó con extracto de levadura (1g), glucosa (1g) y acetato de calcio monohidratado (5g) por litro de agua desionizada. El medio fue esterilizado en una autoclave a 120°C por 20 min. Cuando se alcanzó la temperatura ambiente fue guardado en el refrigerador a 9.4°C para posterior experimentación.

Cálculo de unidades formadoras de colonias (UFC)

Usando el procedimiento reportado por la Universidad de Vermont (Allen, no date) las UFC fueron calculadas utilizando los siguientes parámetros. 0.05 mL de una sexta dilución serial fueron plantados sobre agar nutritivo utilizando un asa de Digralsky, posteriormente fue incubada durante 24 h a 37°C (test por triplicado). Las colonias fueron contadas utilizando un contador de colonias. Los platos contables que sirven para hacer el cálculo poseen más de 30 colonias y menos de 300. Factor de dilución de la muestra (FDM) es calculado si la muestra fue diluida, previo a las diluciones seriales. Factor de dilución individual por tubo (FDIT) indica la dilución

presente en cada tubo individual, en este caso 2 mL del medio con microorganismos fueron diluidos en 8 mL de agua destilada. Factor de dilución total de serie (FDTS) indica la dilución total de todos los tubos combinados, para el caso actual se diluyó 6 veces. Factor de dilución del Sembrado (FDS) indica la cantidad de muestra sembrada en la placa de Petri. Factor de dilución Final (FDF) expresa la dilución total, tomando en cuenta todos los factores y se calculó el $\text{FDF} = \text{FDM} \times \text{FDTS} \times \text{FDS}$. Unidades formadoras de colonias/mL (UFC/mL) es el cálculo final regresivo para obtener la concentración de la muestra original.

Carbonatogénesis cualitativa

Una vez calculadas las UFC/mL, Erlenmeyers con 50 mL del medio de cultivo B4M fueron inoculados con 200 μL de la cepa RTB-017, conteniendo $\approx 8.8 \times 10^6$ UFC/mL, luego se cubrió la boca de cada Erlenmeyer con papel aluminio y pequeños orificios fueron elaborados para permitir la entrada y salida de aire, mientras que los controles negativos permanecieron estériles. Todos los experimentos fueron llevados a cabo por triplicado. La incubación tuvo lugar en un baño de arena previamente esterilizada y luego añadida a un recipiente de metal colocada sobre una placa calefactora, regulada a 40°C . La temperatura de la arena fue comprobada utilizando un termómetro de mercurio hasta conseguir 37°C en algunos puntos de todo el recipiente. Los Erlenmeyers fueron colocados y cubiertos con la arena hasta alcanzar el volumen del medio. La plancha calefactora junto con la arena y los Erlenmeyers fueron colocados sobre un agitador, esto con el fin de obtener condiciones dinámicas 24/7. Finalmente, todo el conjunto fue cubierto con película de embalaje con el fin de evitar contaminación externa y pequeños agujeros fueron elaborados nuevamente para permitir la salida de gas y vapor. Tras 6 días de incubación, finalmente se hizo una separación de la materia orgánica presente en cada Erlenmeyer y los cristales precipitados.

Separación de los cristales

Para realizar la separación de los cristales de carbonato desde la matriz orgánica, el medio fue transferido desde los Erlenmeyers a vasos de precipitación, aquellos cristales adheridos a la superficie de cristal fueron removidos usando una varilla de vidrio. A continuación, se realizó un filtrado al vacío de las muestras utilizando filtros Whatman, seguido de múltiples lavados con agua destilada. Los filtros Whatman que contenían los cristales fueron colocados dentro de agua caliente y con una suave agitación los cristales y la matriz orgánica restante fueron liberados. Se retiró el filtro Whatman, se añadió agua destilada y los vasos de precipitación fueron puestos en reposo, con el fin de permitir que los cristales precipiten, a continuación, el sobrenadante es decantado. Este proceso se repite hasta que los cristales sean visibles a través del vaso de precipitación. A continuación, ya sin matriz

orgánica presente, los cristales fueron filtrados utilizando papel filtro normal y secados en la estufa a 40°C durante 30 min. Finalmente, los cristales fueron guardados en tubos Eppendorf para posterior análisis.

Pruebas de consolidación sobre muestras de rocas carbonáticas

Se utilizaron pequeñas muestras de rocas carbonáticas para probar la consolidación de los bioprecipitados de carbonato de calcio. Las muestras fueron cortadas con dimensiones de 3 cm x 2 cm x 0.5 cm. Después fueron pesadas y esterilizadas en el autoclave a 120°C por 20 min previo al tratamiento. Las pruebas de consolidación se llevaron a cabo sumergiendo las muestras en Erlenmeyer con 50 mL de medio de cultivo B4M, los cuales fueron inoculados con 1 ml de la cepa RTB-017, con una densidad igual a 2.74×10^8 células/mL, precultivado durante 48 horas a 25°C. Se realizó un experimento idéntico sin inocular como control. Los Erlenmeyer fueron cubiertos con papel aluminio y fueron incubados a 30° C y agitación 24/7 en el sistema utilizado para la carbonatogenesis cualitativa. Se midió el pH antes y después del tratamiento, y después de 23 días se retiraron las muestras de los Erlenmeyer, se lavaron varias veces con agua destilada y se secaron en la estufa a 40°C por 4 horas hasta que se estabilice su peso. Finalmente se pesaron las muestras y se analizaron mediante SEM-EDS y DRX.

Resultados y Discusión

Cálculo de las unidades formadoras de colonia por mililitro

Después de la incubación, los platos contables presentaron 111 colonias en promedio. FDM permanece con un valor de 1 puesto que no hubo dilución previa. FDIT = 2/10, puesto que 2 mL de muestra se diluyeron en 8 mL de solución salina. FDTS fue calculado a partir de la dilución total de los 6 tubos, entonces $\left(\frac{2}{10}\right)^6 = \frac{1}{15625}$ con PDF = $\frac{0.05 \text{ mL}}{1 \text{ mL}}$.

Reemplazando valores de $\text{FDF} = \frac{1}{1} \times \frac{1}{15625} \times \frac{5}{100} = \frac{1}{312500}$

Finalmente, la regresión final nos indica $\frac{\text{UFC}}{\text{mL}} = 111 \times$

$$\frac{1}{\frac{1}{312500}} = 34687500 \frac{\text{UFC}}{\text{mL}} = 3.5 \times 10^7 \text{ UFC/mL.}$$

Resultados de las pruebas bioquímicas

De acuerdo con los resultados reportados por (Steinberg *et al.* 2016) la observación bajo microscopio de las colonias bacterianas presenta márgenes ondulados, largos e irregulares, adicionalmente la tinción debe dar como resultado una bacteria Gram positiva en forma de varilla [ver Figura 3]. Esta descripción coincide perfectamente con nuestros hallazgos. Los resultados de las pruebas bioquímicas fueron comparados con resultados bibliográficos (Slepecky and Hemphill 2006; Awais *et al.* 2007), reforzando la suposición de que los

microorganismos aislados son *Bacillus Subtilis*. Solo la cepa RTB-017 coincidió con todos los resultados esperados, por lo tanto, la cepa JK-1 fue descartada de las pruebas de carbonatogénesis cualitativa [ver Tabla]

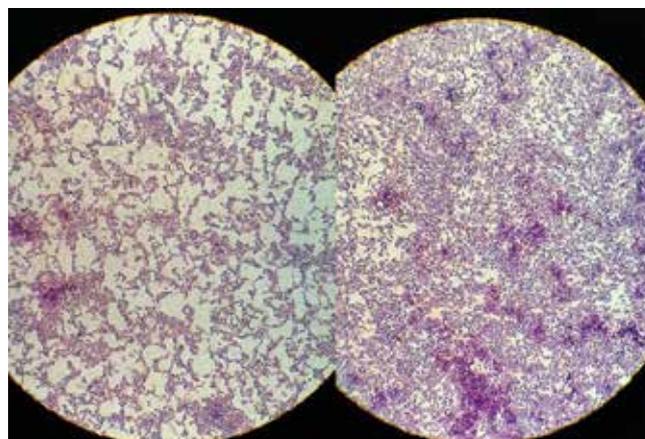


Figura 3.- Aislado RTB-017 después de tinción de Gram.

Test	RTB -017	Referencia	JK1
Citrato	+	+	-
Reducción de nitrato	+	+	+
Catalasa	+	+	+
Rojo de metilo	-	-	-
Voges-Proskauer	+	+	+

Tabla 1.- Resultados de pruebas bioquímicas

Caracterización fisicoquímica de los carbonatos precipitados en medio acuoso

La muestra codificada como B4M_1 fue caracterizada utilizando FT-IR, DRX y SEM-EDS. Observaciones iniciales muestran que los cristales precipitados del medio B4M muestran un color crema claro [ver Figura 4a y 4b]. La espectrometría por infrarrojo fue realizada utilizando muestras en polvo sin previa preparación. Los cristales fueron colocados directamente en el detector del FT-IR y el espectro obtenido fue comparado con carbonato de calcio estándar. CO₂ medioambiental fue eliminado del espectro final. Tanto el carbonato de calcio estándar como bioprecipitado mostraron las mismas señales presentes [ver Figura 4c]. Para la muestra B4M1, la señal en 1400 cm⁻¹ corresponde a la vibración de tensión de C-O (área verde) y las señales alrededor de 707 y 873 cm⁻¹ corresponden a la vibración de flexión dentro y fuera del plano (área naranja), bandas características de la calcita. La banda ancha entre ~2700 y ~3600 cm⁻¹ corresponden a la vibración de tensión de O-H debido a la presencia de agua (área rosada). Las bandas menores en 1795 cm⁻¹, ~2875 cm⁻¹ y el primer sobretono en ~2990 cm⁻¹ corresponde al doble enlace C=O (área gris). Los análisis mediante DRX muestran que la cepa RTB-017 en medio B4M fue capaz de producir exclusivamente calcita.

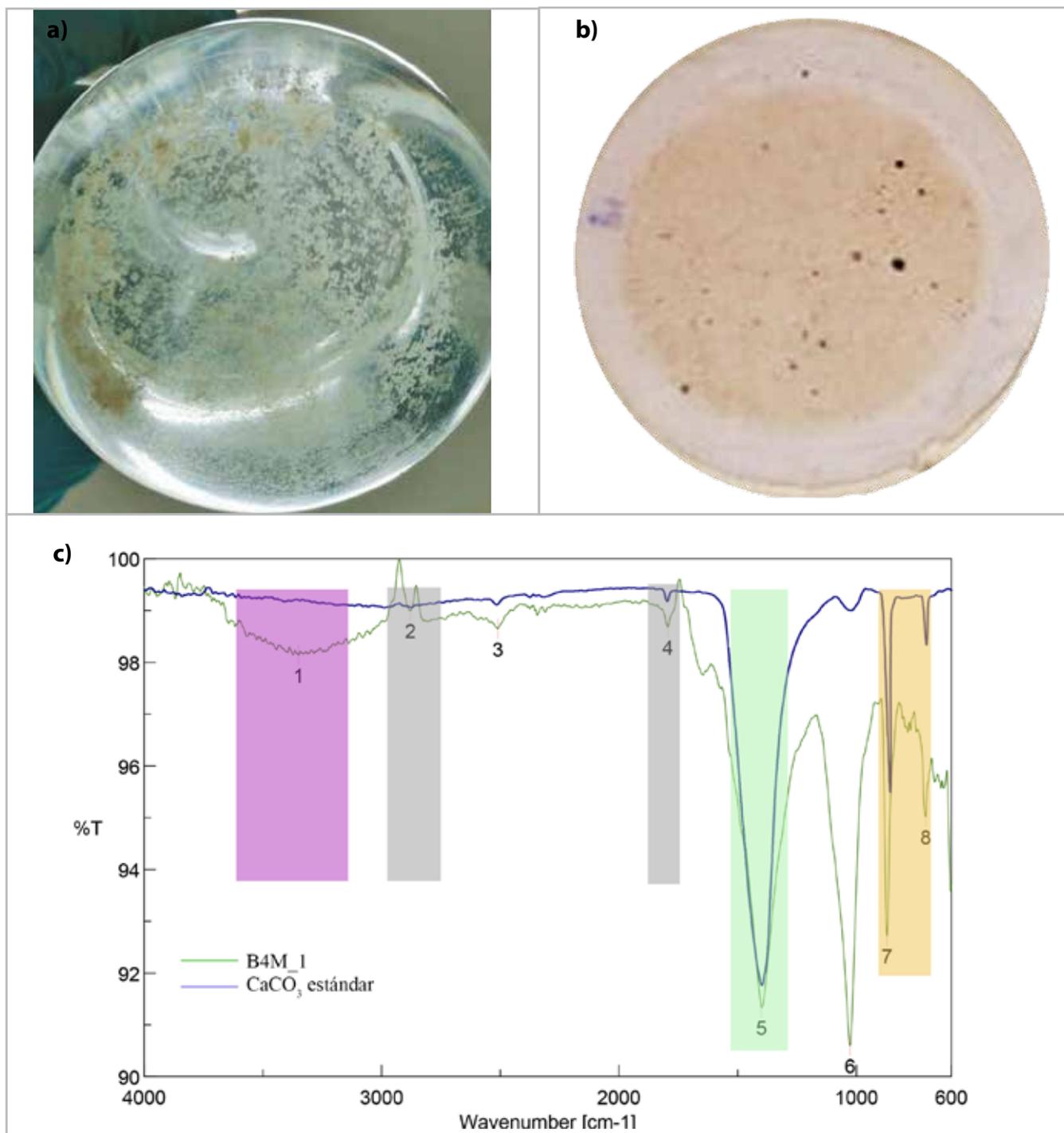


Figura 4.- (a) Cristales bioprecipitados en el fondo de un Erlenmeyer después de varios lavados con agua destilada, (b) filtro Whatman después de filtración al vacío de los cristales precipitados, y (c) espectro de absorción FT-IR de las muestras B4M_1 (verde), comparada con CaCO₃ estándar (azul).

Para estudiar la morfología de los cristales y su composición, utilizamos SEM/EDS. Las muestras fueron montadas en cinta de carbón. Algunos de los cristales fueron despegados del fondo de los Erlenmeyers utilizando una varilla de vidrio, por lo tanto, la presencia de cristales planos puede explicarse a través de su cristalización en las paredes del vidrio [ver Figura 5a]. La magnificación en la observación del precipitado permitió encontrar pequeños agujeros presentes en

todos los cristales, revelando que la superficie celular bacteriana también sirvió como sitio de nucleación [ver Figura 5b]. *Bacillus subtilis* incubado en el medio B4M produjo cristales blanquecinos, redondeados y planos, con un tamaño máximo observado de 200 µm. El análisis semicuantitativo mediante EDS del precipitado muestra en su composición elemental la presencia de Ca, C y O corroborando la bioformación de cristales de carbonato de calcio [ver Tabla 2].

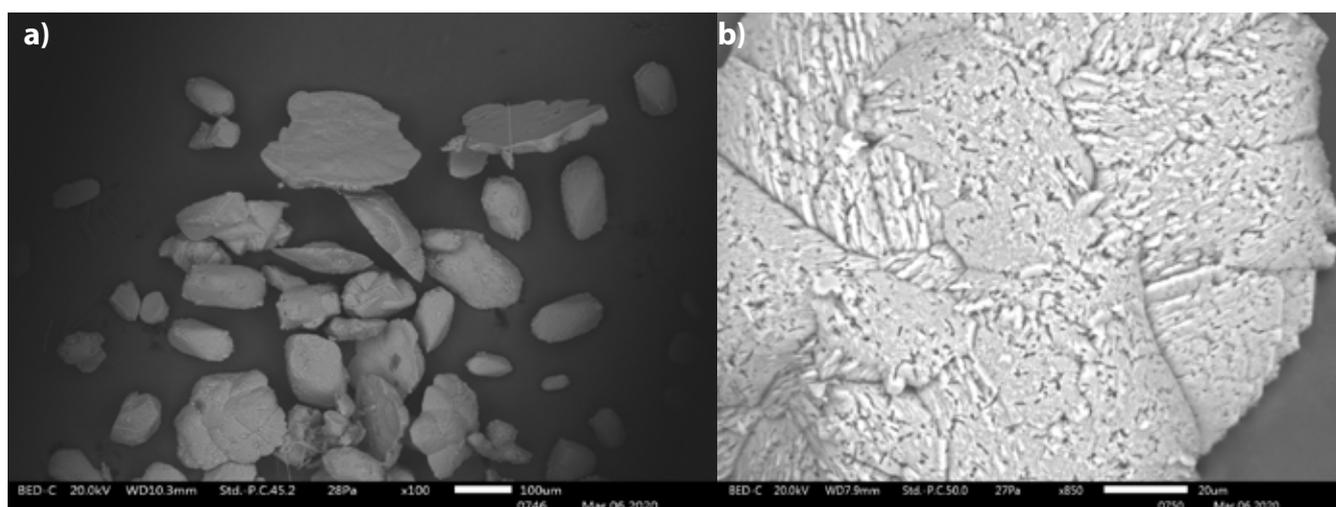


Figura 5.- Micrografías SEM de los cristales de CaCO_3 obtenidos de la muestra B4M_1 con (a) magnificación x100, y (b) magnificación x850.

Elemento	% m/m				
	Espectro 25	Espectro 26	Espectro 27	Espectro 28	Espectro 30
C	27,79	19,11	20,86	16,67	16,67
O	52,22	50,08	34,87	49,86	49,51
Ca	19,78	30,33	43,68	32,93	33,34
Otros	0,21	0,48	0,60	0,54	0,48
Total	100	100	100	100	100

Tabla 2.- Composición química de la muestra B4M_1

Consolidación de carbonatos de calcio sobre muestra de roca carbonática

Después de analizar los resultados de los experimentos preliminares probando el crecimiento de la cepa RTB017 y su capacidad de precipitar carbonatos de calcio en el medio B4M, se realizaron experimentos para probar la capacidad de la cepa de producir carbonatos de calcio en la consolidación de muestras de rocas carbonáticas. Para ello se utilizaron pequeñas muestras, previamente esterilizadas, que fueron sumergidas en Erlenmeyers con 50 mL de medio de cultivo B4M, inoculados con 1 mL de la cepa que contenía una densidad igual a 2.74×10^8 células/mL precultivado durante 48 horas (Bang, Galinat and Ramakrishnan 2001). Así como en los experimentos preliminares, se recreó un sistema para proporcionar condiciones de temperatura 30°C y agitación 24/7. Después de 23 días, se retiraron las muestras del medio, se secaron y pesaron. Los resultados muestran un incremento en el peso de la muestra de 53.7 mg y un cambio en el pH de la solución de 6.55 a 8.24 lo cual se atribuye a la formación de carbonatos de calcio en el medio (García-González *et al.* 2017). Las muestras control mantuvieron

su peso y pH inicial. Además, se puede observar una capa blanquecina, densa y homogénea de cristales de carbonato de calcio sobre la superficie de la muestra [ver Figura 6a]. En un estudio realizado por M. I. Daskalakis *et al.* aislaron dos de cepas pertenecientes a la familia *Bacillus* para probar la precipitación de carbonatos de calcio en la biorrestauración de piedra ornamental (Daskalakis *et al.* 2013). Los resultados mostraron un incremento de 17.0 mg para *B. licheniformis* después de 15 días y de 97.0 mg para *B. cereus* después de 20 días. Entonces, el valor obtenido del incremento de peso para la cepa RTB017 se encuentra dentro de ese rango. No obstante, se debe tener en cuenta las condiciones y medios en los cuales se realizaron los experimentos, así como la composición, estructura y porosidad de la muestra. Mediante el análisis en SEM se puede apreciar cristales con forma hexagonal y romboédrica [ver Figura 6b], característico para calcita (Dick *et al.* 2006). Los cristales precipitados tienen un tamaño que va desde $5 \mu\text{m}$ a $20 \mu\text{m}$. Para el análisis en DRX, una parte del recubrimiento formado sobre la muestra fue retirado con un bisturí. Los resultados corroboran la formación de cristales de calcita mencionado anteriormente [ver Figura 6c].

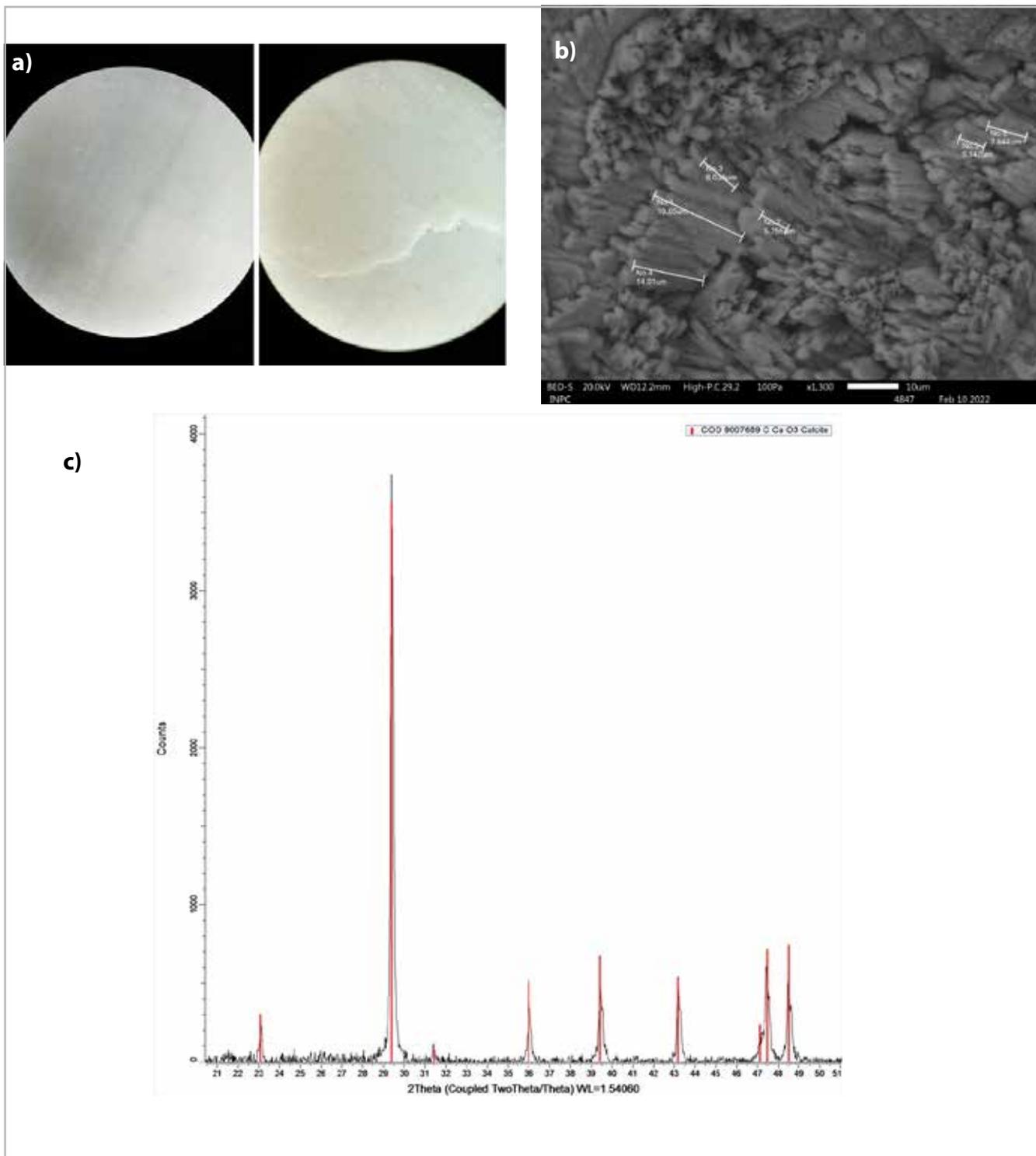


Figura 5.- (a) Microfotografía (aumento x20) de la superficie de la muestra de roca carbonática antes (izquierda) y después (derecha) del tratamiento de PCIM, (b) micrografía electrónica de barrido de los cristales de calcita (aumento x1300), y (c) difractograma de rayos X del bioprecipitado comparado con la calcita.

Conclusiones

Tras la verificación mediante pruebas bioquímicas podemos concluir que la cepa bacteriana local RTB-017 pertenece al género *Bacillus*, específicamente a la especie *Bacillus subtilis*, un microorganismo no patógeno. Después de inducir la precipitación de carbonato de calcio en medio B4M, se pudo comprobar la

producción de cristales blanquecinos, esta característica es muy importante al tratar una pieza patrimonial para restauración. Finalmente, se realizaron pruebas de consolidación sobre muestras de rocas carbonáticas resultando en la formación de una capa estable blanquecina de calcita. Este hallazgo es clave para futuros trabajos en la consolidación de estructuras patrimoniales (e.g., Las Cuatro Estaciones) usando bacterias locales no

patógenas que forman precipitados de carbonato de calcio sobre superficies carbonáticas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Michelle Mármol y Johanna Ramírez por su apoyo brindado en SEM-EDS y DRX, respectivamente. También, agradecemos a la Mgs. Eliana Barba del Laboratorio de Zoonosis y Jhan Karla Piluacán del Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador por las cepas bacterianas suministradas. Al INPC por su apoyo al proyecto "Desarrollo de materiales para la restauración del Patrimonio Cultural"

Referencias

- AL-THAWADI, S. M. (2011). 'Ureolytic bacteria and calcium carbonate formation as a mechanism of strength enhancement of sand', *Journal of Advanced Science and Engineering Research*, 1. Available at: <https://www.sign-ific-ance.co.uk/dsr/index.php/JASER/article/view/26>.
- ALLEN, T. (no date) Serial Dilution Problem # 1. Available at: <https://www.uvm.edu/~btessman/calc/serhelp.html>.
- ANDREOLLI, M. *et al.* (2020). 'Bacteria from black crusts on stone monuments can precipitate CaCO₃ allowing the development of a new bio-consolidation protocol for ornamental stone', *International Biodeterioration & Biodegradation*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2020.105031>.
- AWAIS, M. *et al.* (2007). 'Isolation, identification and optimization of bacitracin produced by Bacillus SP', *Pakistan Journal of Botany*, 39(4): 1303–1312.
- BANG, S. S., GALINAT, J. K. AND RAMAKRISHNAN, V. (2001). 'Calcite precipitation induced by polyurethane-immobilized Bacillus pasteurii', *Enzyme and Microbial Technology*, 28(4–5): 404–409. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(00\)00348-3](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(00)00348-3).
- CAMAITI, M., BORSELLI, G. AND MATTEOLI, U. (1988). *La conservazione del patrimonio monumentale: Prodotti consolidanti impiegati nelle operazioni de restauro*. 10th edn. Edited by s.e. s.l.: L'edilizia e l'industrializzazione.
- CARRIÓ, V. AND MARCOS, F. (2013). 'Pros and Cons of Restoration', *22nd Symposium for Palaeontological Preparation and Conservation Geological Curators' Group*, (November), 12. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19704.75526>.
- CHAPARRO-ACUÑA, S. P. *et al.* (2018) 'Soil bacteria that precipitate calcium carbonate: Mechanism and applications of the process', *Acta Agronomica*, 67(2). <https://doi.org/10.15446/acag.v67n2.66109>.
- CHOI, S.-G. *et al.* (2020) 'Review on geotechnical engineering properties of sands treated by microbially induced calcium carbonate precipitation (MICP) and biopolymers', *Construction and Building Materials*, 246(118415). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118415>.
- DASKALAKIS, M. I. *et al.* (2013) 'Pseudomonas, Pantoea and Cupriavidus isolates induce calcium carbonate precipitation for bioremediation of ornamental stone', *Journal of Applied Microbiology*, 115(2): 409–423. <https://doi.org/10.1111/jam.12234>.
- DICK, J. *et al.* (2006) 'Bio-deposition of a calcium carbonate layer on degraded limestone by Bacillus species', *Biodegradation*, 17(4): 357–367. <https://doi.org/10.1007/s10532-005-9006-x>.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, J. *et al.* (2017) 'Quality improvement of mixed and ceramic recycled aggregates by biodeposition of calcium carbonate', *Construction and Building Materials*, 154: 1015–1023. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.039>.
- GIORGI, R. *et al.* (2010) 'New Methodologies for the conservation of cultural heritage: Micellar solutions, microemulsions, and hydroxide nanoparticles', *Accounts of Chemical Research*, 43(6): 2. <https://doi.org/10.1021/ar900193h>.
- JOKILEHTO, J. (2005) 'Definition of cultural heritage: references to documents in history', ICCROM Working Group 'Heritage and Society', (January), 4–8.
- JOSEPH, E. (ed.) (2021) *Microorganisms in the Deterioration and Preservation of Cultural Heritage*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-69411-1>.
- MÁRCIA AIKO, J. S. *et al.* (2011) 'Effect of culture medium on biocalcification by pseudomonas putida, lysinibacillus sphaericus and bacillus subtilis', *Brazilian Journal of Microbiology*, 42(1517–8382).
- LE MÉTAYER-LEVREL, G. *et al.* (1999). 'Applications of bacterial carbonatogenesis to the protection and regeneration of limestones in buildings and historic patrimony', *Sedimentary Geology*, 126(1–4): 25–34. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(99\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(99)00029-9).
- MICALLEF, R. *et al.* (2016). 'Biocalcifying Bacillus subtilis cells effectively consolidate deteriorated Globigerina limestone', *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 43(7): 941–952. <https://doi.org/10.1007/s10295-016-1768-0>.
- DE MUYNCK, W. *et al.* (2011). 'Influence of pore structure on the effectiveness of a biogenic carbonate surface treatment for limestone conservation', *Applied and Environmental Microbiology*, 77(19): 6808–6820. <https://doi.org/10.1128/AEM.00219-11>.
- ORTEGA-MORALES, B. O. AND GAYLARDE, C. C. (2021). 'Bioconservation of Historic Stone Buildings—An Updated Review', *Applied Sciences*, 11(12): 5695. <https://doi.org/10.3390/app11125695>.
- ORTEGA-VILLAMAGUA, E., GUDIÑO-GOMEZJURADO, M.

AND PALMA-CANDO, A. (2020). 'Microbiologically Induced Carbonate Precipitation in the Restoration and Conservation of Cultural Heritage Materials', *Molecules*, 25(23): 3–6. <https://doi.org/10.3390/app1112569510.3390/molecules25235499>.

PERALTA, E. AND MOYA, R. (2007). *Quito: Patrimonio Cultural de la Humanidad*. Maxigraf S.A.

PÉREZ, H. F. AND GARCÍA, M. G. (2020). 'Bioprecipitation of calcium carbonate by *Bacillus subtilis* and its potential to self-healing in cement-based materials', *Journal of Applied Research and Technology*, 18(5). <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2020.18.5.1280>.

PIGGOT, P. J. (2009). 'Bacillus Subtilis', in *Encyclopedia of Microbiology*. 45–56. <https://doi.org/10.1016/B978-012373944-5.00036-5>.

SLEPECKY, R. A. AND HEMPHILL, E. H. (2006). The Genus *Bacillus*-Nonmedical. <https://doi.org/10.1007/0-387-30744-3>.

SOFFRITTI *et al.* (2019). 'The Potential Use of Microorganisms as Restorative Agents: An Update', *Sustainability*, 11(14). <https://doi.org/10.3390/su11143853>.

STEINBERG, D. *et al.* (2016). 'Bacillus subtilis manual', *Molecular Microbiology*, 1012–1025. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2008.06467.x>.

ZHENG, T. AND QIAN, C. (2020) 'Influencing factors and formation mechanism of CaCO₃ precipitation induced by microbial carbonic anhydrase', *Process Biochemistry*, 91: 271–281. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.12.018>.

Autor/es



Erick Roberto Ortega
erick.ortega@yachaytech.edu.ec
Escuela de Ciencias Químicas e Ingeniería,
Universidad Yachay Tech, Ecuador

Erick Roberto Ortega obtuvo su título de Químico en la Universidad Yachay Tech en 2021. Realizó investigaciones en el Instituto Nacional de Patrimonio Natural (INPC) del Ecuador sobre la bioprecipitación de carbonatos con el objetivo final de restaurar y mantener esculturas que pertenecen al INPC, y en otro proyecto el cual buscaba establecer en una columna geológica los tipos de polen para determinar especies durante períodos temporales. Actualmente investiga de manera independiente el uso de microorganismos para el tratamiento de enfermedades autoinmunes.



Mariana Arcos
mariana.arcos@yachaytech.edu.ec
Escuela de Ciencias Químicas e Ingeniería,
Universidad Yachay Tech, Ecuador

Mariana Arcos egresada de la carrera de Química en la Universidad Yachay Tech. Fue ayudante de cátedra de Química 1 durante el segundo periodo del 2021 en la Universidad Yachay Tech. Además, es miembro activo del Club de Bienestar Animal Yachay desde 2020. También, fue parte de un grupo de investigación de hemoparásitos en aves para la evaluación de la malaria aviar en un gradiente longitudinal en un bosque seco del Ecuador del 2016 al 2017. Actualmente realiza su tesis de pregrado enfocada a la consolidación de carbonatos de calcio inducidos microbiológicamente sobre muestras de mármol y travertino en conjunto con el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) de Ecuador.



Martha Romero Bastidas
martha.romero@patrimoniocultural.gob.ec
Instituto Nacional del Patrimonio Cultural
(INPC), Quito, Ecuador

Doctora en Química (Universidad Central del Ecuador) y master en Arqueología del Neotrópico (Escuela Politécnica del Litoral). Especialista en análisis de materiales orientado al estudio y caracterización del patrimonio cultural y artístico ecuatoriano, donde aplica instrumentación analítica de laboratorio y portátil como: Microscopía óptica y electrónica, fluorescencia de rayos-X, difracción de rayos-X y micro difracción de Rayos-X, entre otras. Se ha dedicado al estudio de materiales y sus procesos de deterioro que sufre el patrimonio mueble e inmueble. Es investigadora y coordinadora de la unidad de Laboratorio y Análisis del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural del Ecuador desde el 2003. Ha sido directora de proyectos de investigación y contraparte en proyectos internacionales.



Carlos A. Vásquez Mora
carlos.vasquez@patrimoniocultural.gob.ec
Instituto Nacional del Patrimonio Cultural
(INPC), Quito, Ecuador
<http://orcid.org/0000-0002-1637-9540>

Químico por parte de la Universidad Central del Ecuador. Master en Diagnóstico y Estado de Conservación de Patrimonio Histórico por la Universidad Pablo de Olavide en Sevilla, España. Es experto en el manejo de técnicas de análisis químico cualitativo, cuantitativo e instrumental con énfasis en la espectroscopia aplicada, uso analítico del sistema de imágenes multispectral (SIM) y caracterización de materiales de naturaleza orgánica. Es el responsable del área de microbiología y bioanálisis, además del manejo de técnicas de prospección magnetométricas aplicadas a la arqueología. Fue ayudante de cátedra en el año 2012 de las asignaturas Química

Ambiental, Química Agrícola, Organometálica, Cinética y Catálisis. De igual manera, participó de la XVI expedición ecuatoriana a la Antártida como investigador científico por parte de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador. Desde el año 2013 hasta la actualidad, se ha desempeñado como asistente de investigación e investigador Químico a tiempo completo en la Dirección de Investigación e Innovación del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural del Ecuador (INPC). Ha participado como expositor en varias conferencias sobre temas científicos relacionados al análisis de obras de arte y bienes culturales en varias instituciones públicas y privadas a nivel nacional e internacional. También es cotutor y asesor de varias tesis de pregrado en distintas universidades a nivel nacional.

Artículo enviado el 19/05/2022

Artículo aceptado el 08/06/2022

<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1119>**Alex Palma Cando**

apalma@yachaytech.edu.ec

Grupo de Investigación (GIAMP), Escuela de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Yachay Tech, Ecuador. <http://orcid.org/0000-0002-9270-9599>

Alex Palma Cando (ORCID: 0000-0002-9270-9599) obtuvo su título de Químico en la Universidad Central del Ecuador en 2010. Desde 2011 hasta 2013, realizó sus estudios de Maestría en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) los cuales fueron enfocados en la electroquímica de polímeros conductores y en dispositivos orgánicos fotovoltaicos. Después realizó sus estudios doctorales en la Bergische Universität Wuppertal (BUW, Alemania) bajo la supervisión del Prof. Dr. Ullrich Scherf hasta febrero del 2017 cuando obtuvo su título de doctor (Dr. rer. nat.) con los más altos honores (summa cum laude). Desde abril 2017 se desempeña como profesor tiempo completo en la Escuela de Ciencias Químicas e Ingeniería de la Universidad Yachay Tech impartiendo una variedad de cursos relacionados a la Ciencia de los Materiales, Cinética Química y Química General. Él ha dirigido y participado en diversos proyectos de investigación, y ha tutelado una serie de tesis de pregrado. Es miembro de la Sociedad Internacional de Electroquímica (ISE) y es miembro fundador del Grupo de Investigaciones Aplicadas en Materiales y Procesos (GIAMP). Colabora con instituciones nacionales e internacionales en el desarrollo de diversos proyectos interdisciplinarios como son (i) la carbonatogenesis aplicada a la consolidación de estructuras patrimoniales, (ii) el desarrollo de estructuras poliméricas microporosas con aplicación en dispositivos electrónicos orgánicos y sensores, y (iii) en el desarrollo de inhibidores de corrosión ecoamigables en aleaciones metálicas. Es autor de 23 publicaciones científicas en revistas indexadas y capítulos de libros.

Levantamiento magnético en un sitio de interés arqueológico ubicado en Perucho provincia de Pichincha, Ecuador

Carlos Vásquez-Mora, Andrés Mosquera-Perugachi

Resumen: Una de las técnicas de prospección geofísica más prometedoras en el campo de la arqueología es la magnetometría gradiométrica de protones. La magnetometría consiste en la detección de anomalías locales en la intensidad del campo magnético terrestre. Su aplicación está dirigida a la detección de anomalías de origen antrópico. Esta investigación detalla las principales conclusiones obtenidas del uso de magnetometría en las prospecciones realizadas conjuntamente con el Instituto Metropolitano de Patrimonio de Quito (IMPQ) y el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural del Ecuador (INPC). Estos estudios desarrollados en la localidad de Perucho, al norte de la ciudad de Quito destacan por la importancia de los hallazgos de contextos funerarios y material cerámico pertenecientes a la cultura Caranquí que ocupó la Sierra Norte del Ecuador durante el periodo de Integración (500 – 1500 d.C.).

Palabras clave: Magnetometría, aplicación, Ecuador, IMPQ, INPC, Caranqui

Magnetometry in a site of archaeological interest located in Perucho province of Pichincha, Ecuador

Abstract: One of the most promising geophysical prospecting techniques in the field of archaeology is proton gradiometer magnetometry. Magnetometry is the detection of local anomalies in the intensity of the earth's magnetic field. Its application is directed towards the detection of anomalies of anthropic origin. Through the surveys conducted jointly with the Metropolitan Institute of Heritage of Quito (IMPQ) and the National Institute of Cultural Heritage of Ecuador (INPC) has carried out some studies this year in the town of Perucho, north of the city of Quito whose main conclusions are detailed in this communication, highlighting for its importance the findings of human bodies and ceramic material belonging to the Caranquí culture that inhabited these lands between 2000 - 1600 AP.

Keywords: Magnetometry, application, Ecuador, IMPQ, INPC, Caranqui

Introducción

Hoy en día, es muy común que el inicio de una excavación arqueológica deba estar precedido por algún tipo de prospección geofísica, debido al imperativo, cada vez mayor, de una investigación no destructiva y más eficiente. La magnetometría es seguramente, uno de los métodos de prospección más utilizados a nivel mundial para la localización de estructuras o materiales de origen cultural enterrados bajo la superficie terrestre. Su uso permite sin perturbar el registro arqueológico, cubrir grandes áreas en poco tiempo y proporcionar mapas con información cada vez más confiable y ampliada. Si bien, la investigación magnética nunca relevará ni reemplazará

a las excavaciones arqueológicas, realizada antes de cualquier proyecto arqueológico permite maximizar la eficiencia y minimizar el daño físico al patrimonio arqueológico. (Fassbinder 2017: 499)

Su aplicación en arqueología se encamina hacia la detección de anomalías de origen antrópico. Estas alteraciones son resultado de dos fenómenos magnéticos diferentes: el magnetismo inducido o susceptibilidad magnética y la termo magnetización remanente. La temperatura es importante a la mejora de los minerales magnéticos como el hierro, el cobalto o níquel. A su vez, los materiales arcillosos que contienen estos elementos químicos al cocerse en forma de vasijas u otros utensilios

activan este fenómeno. En arqueología, los cambios que presentan los materiales arcillosos tras la cocción es clave para identificar sitios arqueológicos, ya que es posible encontrar vestigios cerámicos, en casi todos los sitios desde el Paleolítico hasta los tiempos modernos (García Vásquez & Fernández-Peña 2014).

La prospección arqueológica en el Ecuador, en la mayoría de casos, se la realiza mediante técnicas de exploración pedestre y con prueba de palas. Esta metodología genera la desventaja de tener que realizar los trabajos arqueológicos en dos etapas, la primera prospectiva y la segunda mediante excavación. (Echeverría Almeida, s/a) Este procedimiento hace que la principal desventaja sea el coste por remoción de suelos debido al número de técnicos y al tiempo prolongado de trabajo, así como el levantamiento de campamentos, además de no garantizar el éxito de algún hallazgo importante. En el último lustro, han aumentado las prospecciones geofísicas como complemento al análisis arqueológico en el Ecuador, siendo el análisis magnético una técnica esencial para la identificación de suelos de interés (Schmidt 2007).

Entre los estudios desarrollados recientemente, los resultados más interesantes fueron los obtenidos en el Proyecto de excavación arqueológica en el sitio Tagshima, ubicado en el Distrito Metropolitano de Quito, realizado a inicios del año 2020 y durante los primeros meses de la pandemia por el COVID-19. En este caso en particular, se usaron la prospección magnética y la realización de varios sondeos estratigráficos de forma combinada para la selección de los espacios a ser excavados. Los resultados obtenidos permitieron no alterar el registro arqueológico y los sembríos de maíz existentes en ese momento y comprobaron la eficiencia y eficacia del método (Ugalde Mora, Dyr Dahl, Montalvo Puente, & Constantine Castro 2020).

El presente estudio, discute los resultados obtenidos de la prospección y rescate arqueológico realizado en un predio ubicado en la parroquia de Perucho, en el cual el Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito ha diseñado un proyecto para la construcción de una subestación que incluye la implementación de un helipuerto. Los trabajos de prospección arqueológica se realizaron usando en forma combinada la fotogrametría para generar la ortofoto y las curvas del nivel para el levantamiento topográfico digital; y la magnetometría de protones para identificar las anomalías magnéticas. El uso de ambas técnicas de forma conjunta ha permitido tener una visión clara de algunas estructuras antropogénicas enterradas.

Magnetismo inducido

La magnetometría es una técnica cuyo principio se basa en la detección de anomalías en la intensidad de un campo magnético perteneciente a un objeto oculto

en el subsuelo. Con ese conocimiento, es obligatorio preguntarnos como ese campo magnético difiere del campo magnético terrestre. Para ello se introduce el término magnetismo inducido, que se define como la capacidad de un material de magnetizarse, sea de forma artificial a diferencia de la geomorfización de algunos materiales. Para inducir el magnetismo existen influencias como las cargas eléctricas de un rayo, o el calor. Para el caso arqueológico, la presencia de estas anomalías indican que materiales como arcillas con hematita como su componente principal pasan a transformarse con calor, generando un magnetismo que se vuelve permanente a partir de 670°C. Esta temperatura se denomina Curie. (Gallegos Aguilar & Piispa 2020).

Marco Arqueológico

El predio en el que se ha planificado la construcción de la Subestación de Bomberos, se encuentra en la parroquia Perucho, que es una de parroquias rurales del Distrito Metropolitano de Quito. Las coordenadas de referencia del sector son: 10012200 N/ 786731 E. El sitio está delimitado con un cerramiento de bloques que rodea al lugar con dos canales paralelos junto a las paredes, que van de norte a sur. El área que será intervenida es de alrededor de 83 metros de largo por 65 metros de ancho [Figura 1].

Es importante mencionar que el área de estudio es considerada parte del denominado país Caranqui, el cual "comprende un territorio relativamente pequeño delimitado al norte por el río Chota y al sur por el río Guayllabamba. Los límites al este y oeste del territorio no están bien definidos, aunque es probable que el límite oriental quedara cerca de la división continental, y el occidental se localizaba en las inmediaciones del río Intag". Es decir, el país Caranqui comprende la actual provincia de Imbabura y la parte norte de la provincia de Pichincha. Por lo tanto, la etnia Caranqui fue la que construyó los montículos artificiales de Cochasquí. En base a excavaciones estratigráficas y a fechados radiocarbónicos obtenidos de contextos arqueológicos seguros, el equipo de investigación de Udo Oberem ha planteado una secuencia cronológica para el sitio Cochasquí, que abarca un periodo entre el 950 y el 1550 d.C. y que comprende dos fases arqueológicas. La primera aproximadamente entre el 950 – 1250 d.C.; y la segunda del 1250 – 1550 d.C. Los anteriores datos de la cronología son un referente para toda la sierra norte y en mayor medida para ubicar temporalmente a la ocupación Caranqui en los Andes Septentrionales.

Finalmente se ha realizado investigaciones en la parroquia Perucho, registrando evidencias de ocupaciones en los periodos: Formativo, Desarrollo Regional, e Integración. Las evidencias del Formativo corresponden a la sección de una estructura doméstica (2800 AP) relacionada con la Fase Cotocollao que fue definida por Villalba en



Figura 1.- Vista satelital del Sitio prospectado Perucho. Fuente Google Earth

1988). Por otro lado, las evidencias del Desarrollo Regional están relacionadas con contextos habitacionales que corresponden a la fase Malchinguí (2000 – 1600 AP).

Metodología

La prospección se inició delimitando el sitio como un rectángulo de aproximadamente un área de 3000 m² que está limitado por un cerramiento. En la figura 1, este espacio se encuentra delimitado en un cuadrado rojo. Se continuó con un levantamiento fotogramétrico con la finalidad de generar la orto foto y las curvas del nivel para el levantamiento topográfico digital. Los sobrevuelos con dron se realizaron empleando un vehículo aéreo no tripulado de marca DJI que incluye una cámara Hasselblad de 20 Megapíxeles. El vuelo se planificó con la aplicación Pix4D Capture y en el laboratorio, la información se procesó utilizando el software Pix4d Mapper. A partir de los datos recogidos a través del Dron DJI fue obtenida una figura georeferenciada del área de estudio.

Una vez obtenidos los cuadrantes, se pasó con el magnetómetro de precisión para adquirir los datos y registrarlos en tablas. El magnetómetro empleado es un magnetómetro de precisión de protones marca Geometrix serie G658. El sensor de precisión de protones fue llenado con una sustancia cargada de protones (combustible hidrocarbúrico) y estuvo dirigido en dirección norte N +

17° respecto al Ecuador magnético y se empleó una estaca elevando dicho sensor 1 m respecto al nivel del suelo. Se tomaron alrededor de 622 puntos. El trabajo de prospección geofísica en campo concluyó con el registro de datos en el ordenador portátil. (Kuna, Krivánek, Chvojka, & Šálková 2021)

La información levantada con el magnetómetro se digitalizó posteriormente para ser proyectada en un software de Sistema de Información Geográfica (SIG) junto con la orto fotografía obtenida por medio del uso de Dron. El sistema de georeferenciación utilizado fue UTM -WGS 84 Zona 17 sur (INPC 2018).

A través de esta información levantada en la prospección y dependiendo de las anomalías obtenidas se definieron seis unidades de cateo de 1 m x 1 m. La distancia entre cada uno de los cateos fue de 15 metros, y cada uno fue excavado hasta descartar la presencia de materiales arqueológicos. (Mosquera, 2021). La excavación de los cateos se realizó mediante el método de niveles estratigráficos, siguiendo para ellos los niveles naturales. La información relativa a la excavación de los cateos se registró en formularios diseñados para el efecto llevando un control de procedencias a través de una lista maestra. Todo material cultural registrado, fue lavado y trasladado a los laboratorios del Parque Arqueológico y Ecológico Rumipamba para su análisis. Los materiales a partir de los cuales se pueden obtener muestras para estudios de paleobotánica no fueron lavados.

Resultados y Discusión

La figura 2 muestra el mapa elaborado a partir de la serie de puntos obtenidos en el levantamiento magnético. El software Surfer versión Golden (año 2016), permite mapear estos puntos empleando una escala de color en rango de arcoíris, donde los valores altos de termo remanencia están en color rojo y los valores bajos están en color violeta. En el sitio arqueológico analizado se encontraron anomalías magnéticas cuyos valores van entre 28400 y 33300 ± 40 nT, que se extienden en un área aproximada de 3000 m2 y a una profundidad promedio que ronda entre 1 y 3 m. Estos datos indican que el área del terreno prospectada en su mayoría posee termo remanencia, con valores de 32600 ± 100 nT, con pocos sitios que muestren valores de susceptibilidad por debajo de 30000 ± 40 nT. (Weston 2002)

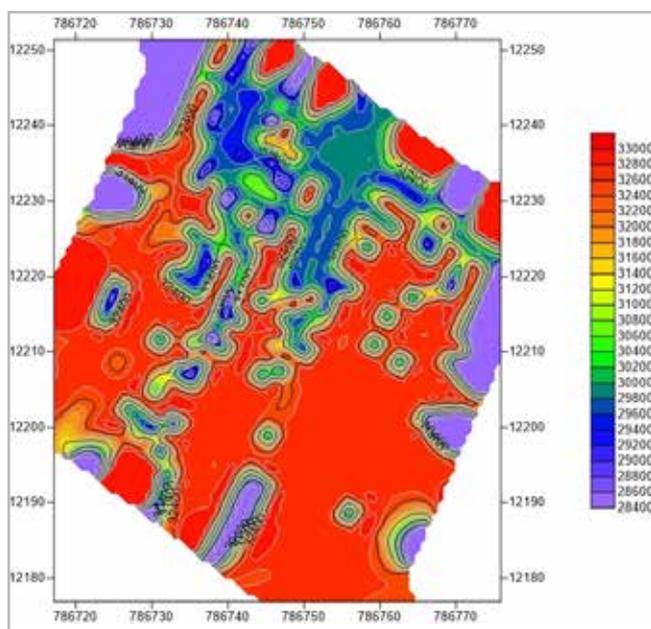


Figura 2.- Mapa obtenido mediante el levantamiento magnético del sitio prospectado. Fuente GLA-INPC

Para ubicar geoespacialmente las anomalías, el mapa magnético fue montado sobre una cartografía de referencia (mapa base) a través del software ArcGIS versión 10.5, tal como se observa en la Figura 3. Las zonas de color rojo cubren una amplia extensión del terreno. Estas zonas corresponden a anomalías de alta termo remanencia y son producto de la remoción reciente del suelo, debido a que se trata de un terreno usado actualmente para la agricultura; y no la presencia de estructuras o material cultural con considerable magnetismo inducido por quema (fogones, fragmentos cerámicos o restos de pisos quemados), como también puede ser interpretado. En esta figura, también se observan otras zonas de magnetismo no inducido (color azul violeta) que corresponden a vacíos magnéticos, los cuales pueden atribuirse a rocas no férricas o posiblemente espacios

huecos asociados a tumbas (Moussavi Alashloo, Saad, Nawawi, Saidin, & Alashloo 2011).

La interpretación del mapa magnético, en concordancia con su posición geográfica, tipo de anomalía interpretada, perímetro y área que conlleva, facilitó la toma las decisiones para trazar los cateos en los sectores en los que se registraron valores bajos, medios y altos, y así determinar las características de cada uno de ellos y avanzar con las excavaciones (Hester 2009; Sorin, A Magnetic survey at Histria Necropolis 2019).



Figura 3.- Mapa magnético del sitio prospectado sobrepuesto a una orto foto generada con dron. Fuente Andrés Mosquera

Todas las excavaciones resultaron positivas, es decir, se encontraron evidencias de material arqueológico en el subsuelo. (Halperin & Martínez 2006). Sin embargo, en la mayoría de los casos el material fue muy fragmentario. A pesar de esto, se han definido varios contextos arqueológicos, entre ellos: 1) contextos funerarios de distintos periodos y, 2) un contexto secundario que por sus características se sugiere que corresponde al periodo Arcaico. (Mosquera 2021)

En los sectores en los que se definieron interacciones entre valores medios y bajos del magnetómetro, se ubicaron los cateos 1, 2, y 11. En los dos primeros se registraron evidencias de actividad humana a distintas profundidades. El principal contexto corresponde a un enterramiento registrado a 350 cm bajo superficie, en posición decúbito lateral izquierdo asociado a material cultural prehispánico. En el cateo 2 fueron registradas evidencias de contextos secundarios, en los cuales a partir de los tres metros de profundidad se documentaron rellenos que posiblemente correspondan a las áreas adyacentes a las zonas de enterramiento.

Por otro lado, en el cateo 11, a partir de un metro bajo superficie se documentaron restos óseos humanos que corresponden a una zona de enterramiento reutilizada, con evidencia de enterramientos alterados debido a la colocación

de restos óseos desarticulados en un momento más tardío.

En los sectores en los que los datos de la prospección magnetométrica fueron elevados, no se registraron contextos funerarios arqueológicos. Por ejemplo, en el cateo 3, la cantidad de material cultural que se documentó fue inferior en relación a las otras excavaciones y tampoco se registró un contexto primario.

El detalle de los principales hallazgos durante la prospección será expuesto a continuación.

Unidad de Cateo 1

El sector seleccionado fue una zona en escala de color verde amarillenta, 31400 a 30200 ± 40 nT en este rango pueden ubicarse materiales magnéticos como no magnéticos, tal como puede apreciarse en la figura 4. En el primer cateo, se ubicó en las coordenadas 10012199 N / 786730 E. en donde se registraron varios depósitos (D).

A 55 centímetros bajo el suelo (cmbs) estuvo el D2, donde se encontraron fragmentos de cerámica, restos óseos, lascas de obsidiana. En D3 ubicado a 78 cmbs: se hallaron: cerámica, lascas de obsidiana, fragmentos de hueso y una moneda de plata. En D4 (90 cmbs) se encontraron cerámica obsidiana y lítica. A continuación se ubicó D5 que consistía en una capa de ceniza atribuida al volcán Quilotoa (750 BP). En los depósitos posteriores D6 (186 cmbs) y D7 (210 cmbs) se encontraron lítica, obsidiana, carbón, hueso y caparazones de moluscos. En D8 vuelve otra capa de ceniza, esta vez atribuida al volcán Pululahua (400 aC). Continuando en la excavación se encontraron en los depósitos D9 y D10

(350 cmbs) restos humanos, que fueron extraídos para su correspondiente estudio. Al seguir excavando se llegó a un piso estéril de cangahua que se denominó D11, con lo que finaliza la excavación. [Figura 4].

Unidad de Cateo 2

El siguiente sector está ubicado en las coordenadas: 10012193N / 786740E. Como se ve en la figura 5, dentro del mapa magnético corresponde a un rango de color rojo anaranjado, cuyos valores oscilan entre los 33000 a 32200 ± 40 nT. En los depósitos encontrados, D2 (50 cmbs) se registraron: cerámica, lítica, hueso y caparazones de moluscos. En D3 (100 cmbs) cerámica y caparazones de moluscos, en este caso no se definió D4, por lo que enseguida se obtuvo la primera capa de ceniza correspondiente al volcán Quilotoa. A continuación, se registró nuevamente cerámica a 210 cmbs correspondiente a D6. En D7 (210 cmbs) se recuperó cerámica, carbón y hueso. Luego, la segunda capa de ceniza volcánica correspondiente al Pululahua, caracterizada por la presencia de pómez. Finalmente los depósitos desde el D9 al D11 no presentaron registros de actividad antrópica. [Figura 5].

Unidad de Cateo 3

Este sector está ubicado en las coordenadas: 10012199 N / 786755E. En la figura 6, el mapa magnético en este caso es color rojo, cuyos valores pertenecen 33000 ± 40 nT. Los depósitos encontrados, D2 (50 cmbs) registraron: cerámica, lítica, hueso y caparazones de moluscos. A continuación en D2 y D3 se tuvo cerámica,

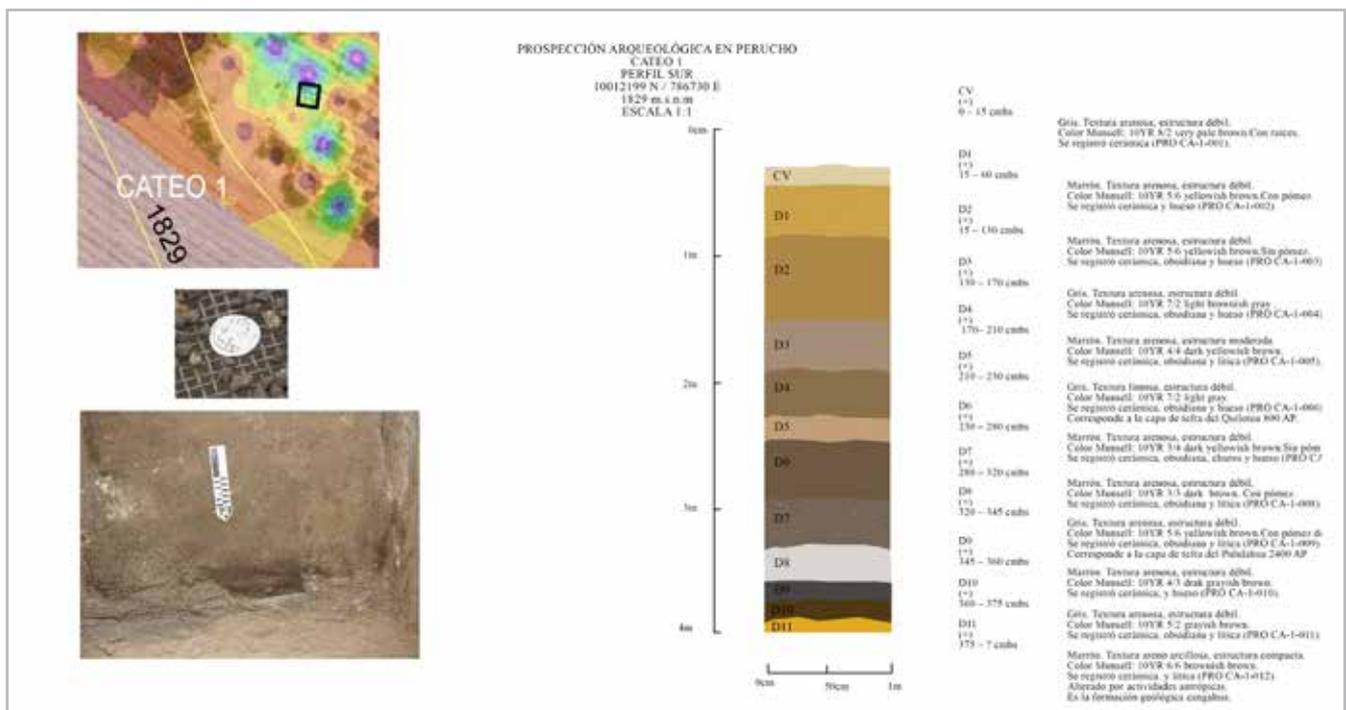


Figura 4.- Mapa magnetometrico, evidencias y perfil de suelo de la unidad de cateo 1. Mosquera y Vásquez, 2021

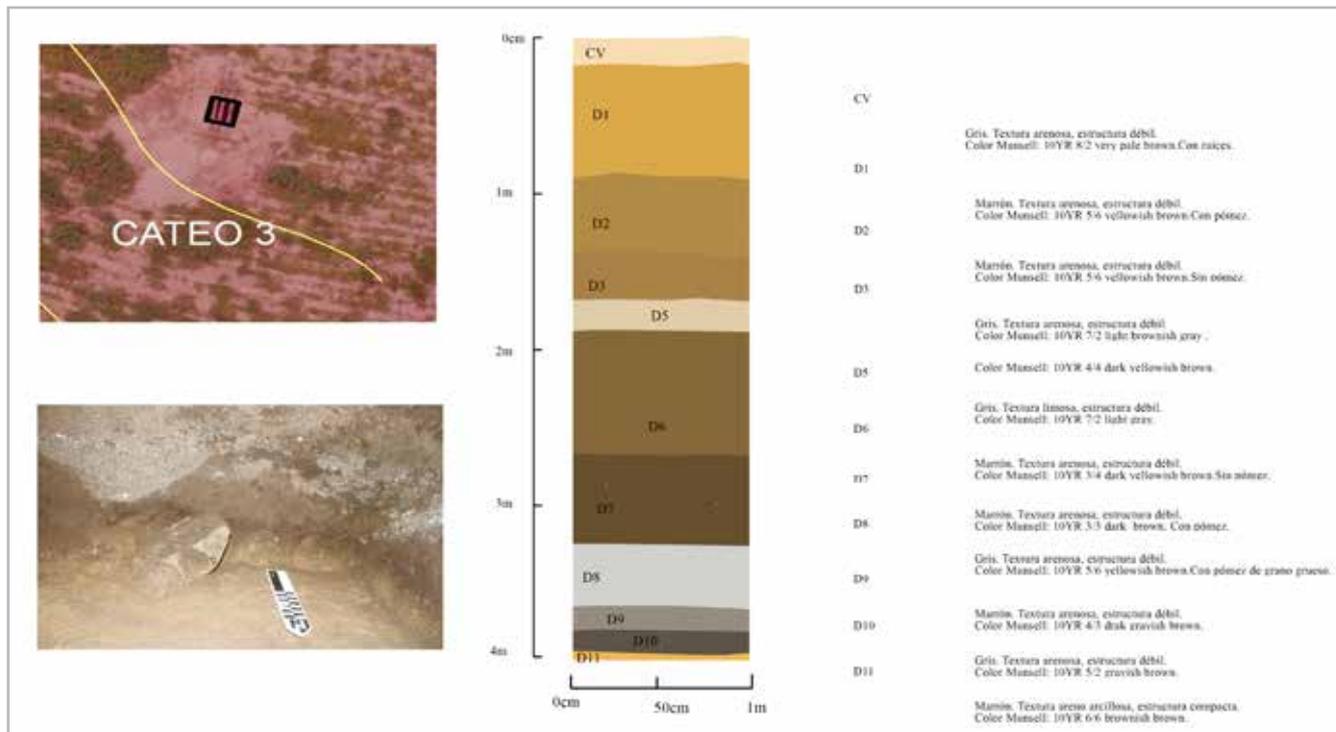


Figura 5.- Mapa magnetometrico, evidencias y perfil de suelo de la unidad de cateo 2. Mosquera y Vásquez, 2021

lítica, obsidiana, hueso y carbón. Enseguida se obtuvo la primera capa de ceniza correspondiente al volcán Quilotoa. Posteriormente, en D6 (210 cmbs) se registró cerámica, lítica, obsidiana, carbón, hueso y caparazones de moluscos. Al descender al depósito D8 se encontró que estuvo alterado, esto se relaciona con los rellenos que anteriormente han sido definidos como D9 y D10, e incluso en la parte central del cateo apareció un relleno con arena negra. [Figura 6].

Unidad de cateo 4

El cuarto cateo fue trazado a en las coordenadas 10012216 N/786751E. Se puede ver en la figura 7, el mapa magnético en este caso es color rojo, cuyos valores pertenecen 33000 ± 40 nT. En D2, se registraron varios fragmentos de cerámica, lítica y hueso. En D3, estuvo a partir de los 89 cmbs, y se registraron pocos fragmentos de cerámica. La excavación continuó hasta los 150 cmbs y debido a la

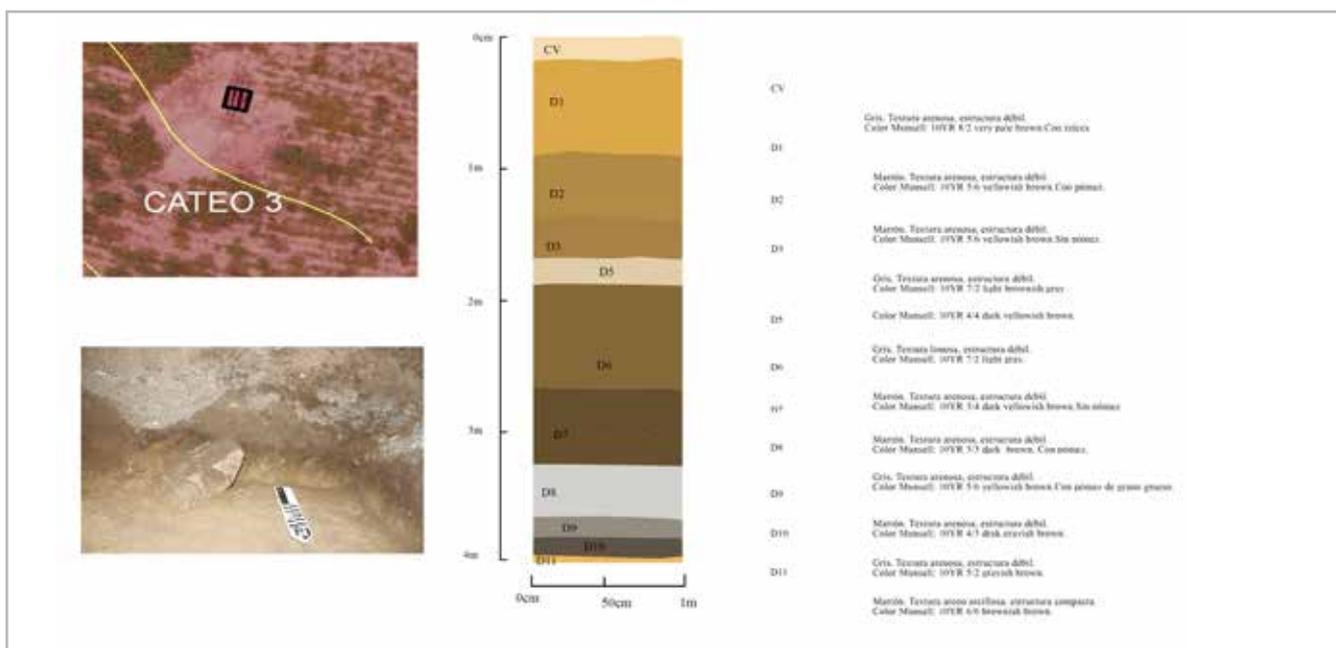


Figura 6.- Mapa magnetometrico, evidencias y perfil de suelo de la unidad de cateo 3. Mosquera y Vásquez, 2021

poca presencia de material cultural registrado se decidió detener la excavación. [Figura 7].

Unidad de cateo 5

En las coordenadas 10012216 N/ 786751E se ubica el quinto cateo. En la figura 8 el mapa magnético en escala de color es verde amarillenta 31400 a 30200 \pm 40 nT, dentro de este rango pueden ubicarse materiales magnéticos como no magnéticos. D2 inició a partir de los 32 cmbs, y se encontró fragmentos de cerámica, hueso y lascas de obsidiana. D3 se encontró a partir de los 90 cmbs y se documentaron fragmentos de cerámica. En el cateo 5 se registró D4, a partir de los 115 cmbs y se localizó cerámica y una muestra de carbón vegetal a 160 cmbs. Posteriormente se tuvo la ceniza volcánica del Quilotoa. Aquí se registraron lentes de arena gris y material cultural intrusivo. Al inicio de D6 a 225 cmbs, en la esquina suroeste del cateo se reconoció un podo de cerámica. En este estrato no se definió bien D7, sin embargo, D8 fue escrutado sin evidencia de alteraciones y siguiendo la pendiente natural del espacio investigado. Como fue mencionado con anterioridad, D8 corresponde a la erupción del volcán Pululahua acontecida en el 400 a.C. Debajo de D8 se encontró un paleosuelo de color marrón oscuro solo con presencia de artefactos líticos y de obsidiana. [Figura 8].

Unidad de Cateo 11

La figura 9 el mapa magnético en escala de color es verde amarillenta 31400 a 30200 \pm 40 nT, dentro de este rango pueden ubicarse materiales magnéticos como no magnéticos, está ubicado en las coordenadas 10012245 N / 786736 E. En D2 se registró cerámica, obsidiana, metal, carbón y hueso. A 150 cmbs, en el centro del cateo 11 se registraron restos óseos articulados, a los que se les asignó.

En base a lo anterior y debido a lo ocurrido en los cateos que fueron excavados con anterioridad, se decidió ampliar la excavación, que en adelante se denominó como corte 2. En D1 el material se encontraba muy fragmentado. En D2 al llegar a los 150 cmbs se niveló topo el corte para exponer. Sin embargo, en el proceso de excavación hacia el noreste se fueron exponiendo restos óseos no articulados, incluso se registraron dos cráneos orientados en posiciones contrarias. [Figura 9].

Al final se realizaron otros cateos alrededor de las zonas de influencia del magnetómetro, obteniéndose resultados positivos en cuanto a evidencias o hallazgos antropogénicos. En la figura 10 se aprecian los mapas de los cateos realizados y el mapa magnético. [Figura 10].

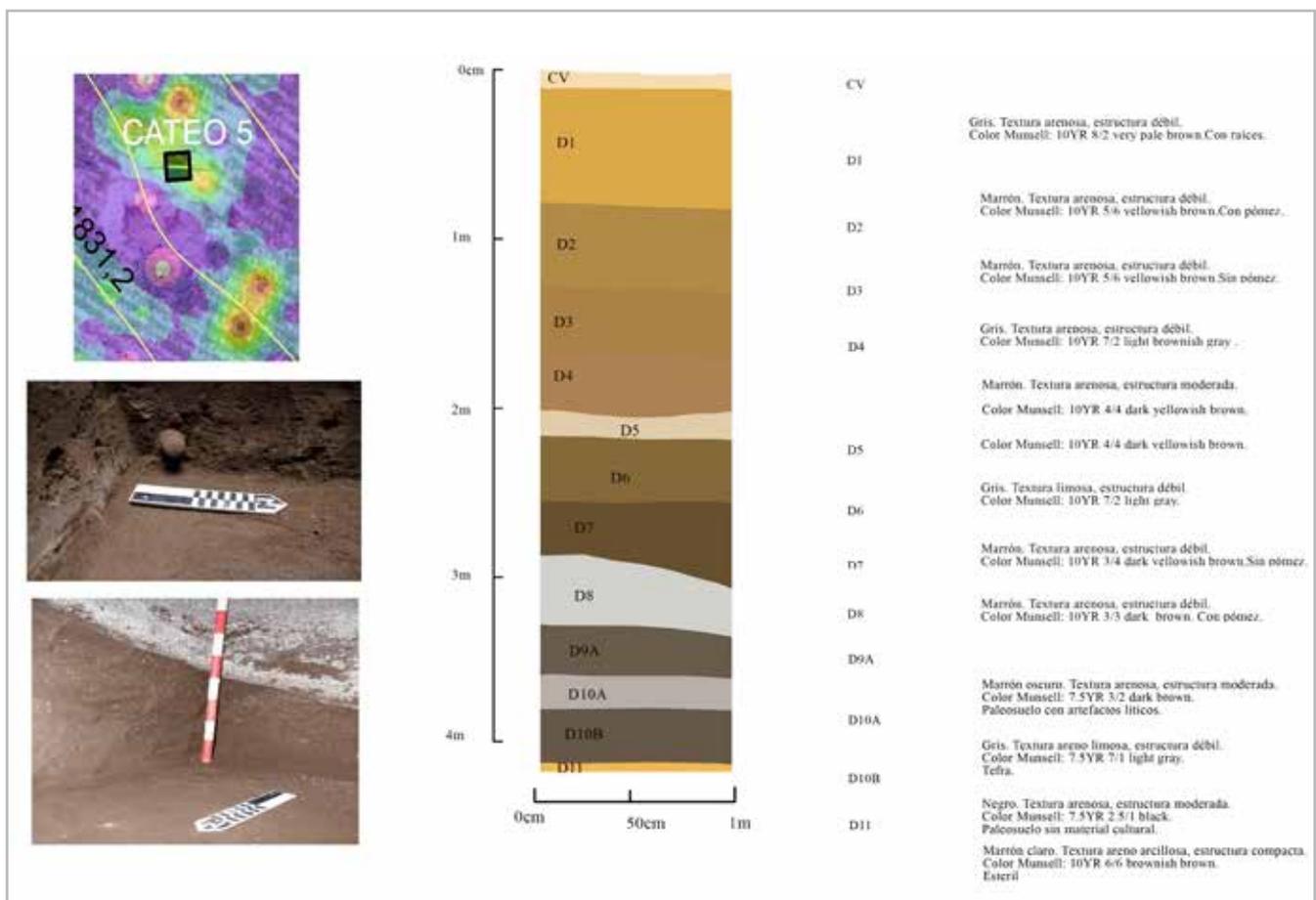


Figura 8.- Mapa magnetometrico, evidencias y perfil de suelo de la unidad de cateo 5. Mosquera y Vásquez, 2021

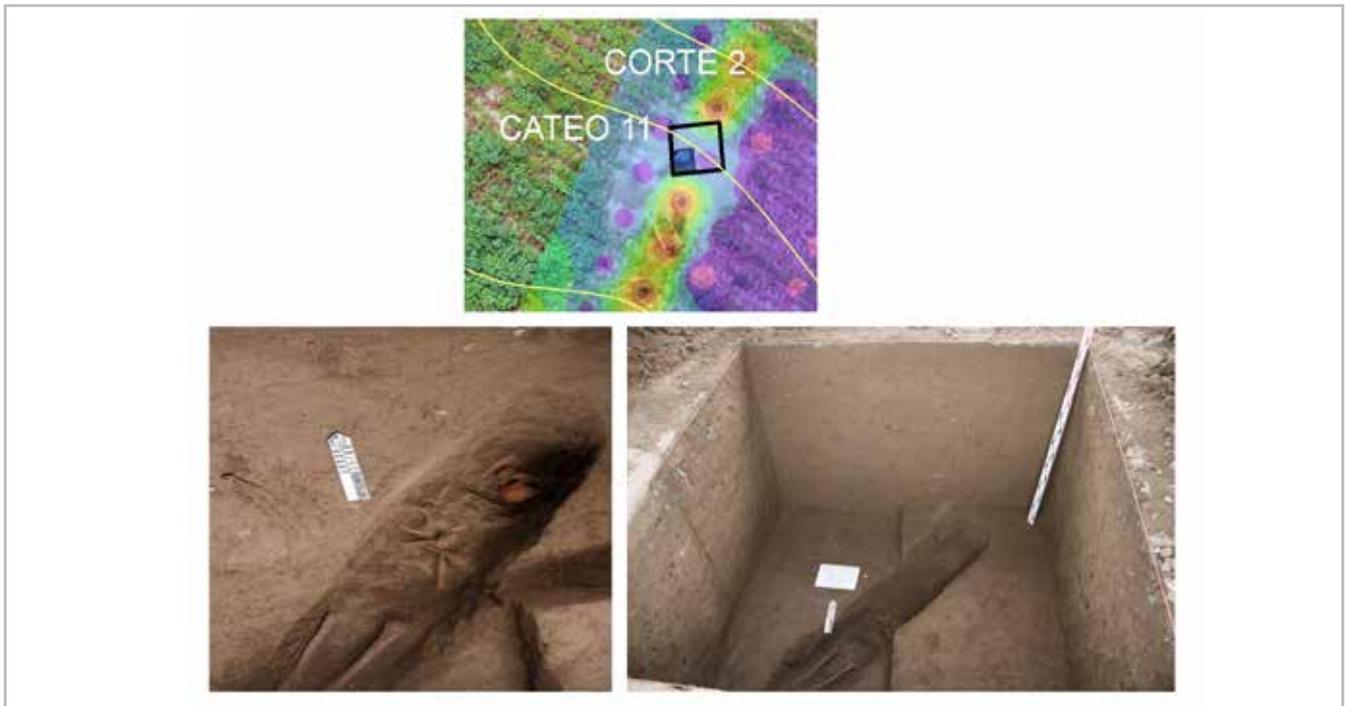


Figura 9.- Mapa magnetometrico, evidencias y perfil de suelo de la unidad de cateo 11. Mosquera y Vásquez, 2021.

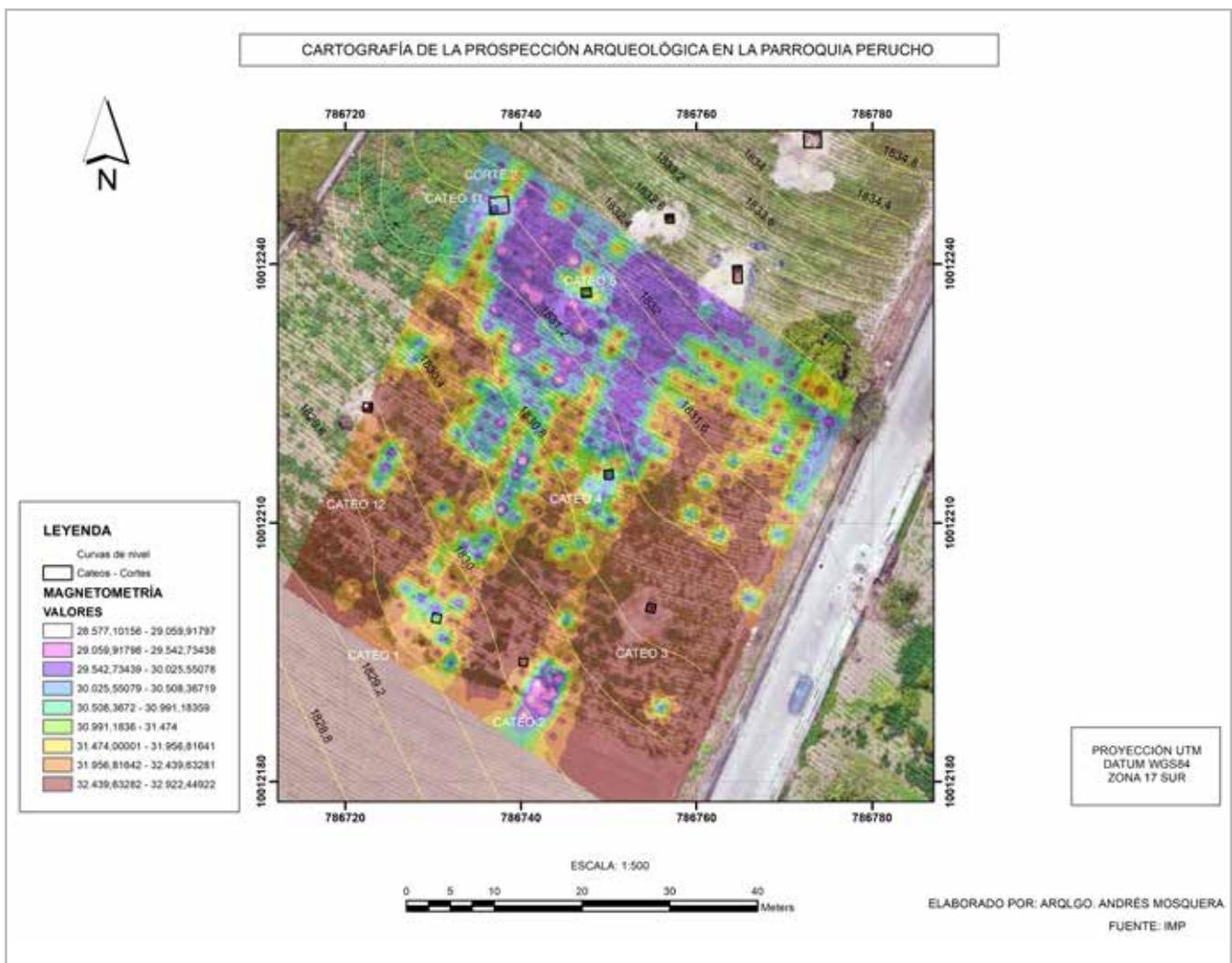


Figura 10.- Ubicación de los cateos sobre el mapa de la magnetometría. Mosquera, 2021.

Contextos funerarios

Dentro de los contextos funerarios, se evidenció el entierro a 350 cmbs en el sector suroeste del espacio investigado como se muestra en la figura 11 (rasgo 2). También ha resultado interesante el registro de cerámica con el espesor de las paredes grueso debajo de la capa de ceniza volcánica del Pululahua. Estos materiales por su forma y acabado de superficie corresponden al periodo de Integración y se encuentran en esa posición estratigráfica debido a actividades antrópicas como: posibles modificaciones del terreno para realizar los enterramientos. Se plantea lo anterior, debido a que, en el sector sur del espacio investigado, se registraron en los cateos 2 y 3, fragmentos de cerámica gruesa con engobe rojo en los rellenos que fueron denominados como D9 y D10, figura 12. Incluso en el cateo 3 se documentó asociado a los rellenos y sobre la cangahua a 370 cmbs un fragmento de metate. Para ser más explícitos, los datos sugieren que en el sector sur posiblemente se encuentren otros entierros, además del rasgo 2, que correspondan al periodo de Integración tardío a una profundidad promedio de 3 a 350 cmbs, como se indica en la figura 13.

Por otro lado, en el cateo 11 ubicado hacia el noroeste del espacio investigado se registró una posible fosa común a la que se le denominó como rasgo 9, mismo que está compuesto por varios restos óseos desarticulados. Entre ellos, se registraron dos tibias orientadas hacia el suroeste. Figura 14. Además, dos cráneos, el primero orientado hacia el noroeste y el segundo con la parte frontal enterrada en planta. En el proceso de excavación se registraron varias costillas. El contexto arqueológico data de inicios del siglo XIX.

La metodología de prospección aplicada en el presente estudio ha permitido identificar contextos primarios en los sectores en los que los datos del magnetómetro fueron medios y bajos. En estos espacios fueron registrados contextos funerarios que incluyen un entierro de filiación cultural Caranqui y otro contexto funerario de inicios de la época Republicana.



Figura 11.- Rasgo 2 registrado en el cateo 1. Mosquera, 2021.



Figura 12.- Esquina sureste del cateo 2, alterada. Mosquera, 2021.



Figura 13.- Esquina sur oeste del cateo 3, alterada. Mosquera, 2021.



Figura 14.- Rasgo 9 ubicado en cateo 11. Posible fosa común.

De esta manera, en el presente estudio se plantea que las zonas en las que hay interacciones entre valores magnetométricos medios y bajos, posiblemente correspondan a áreas de enterramiento. En estos sectores se han identificado espacios con vacíos magnéticos, producto de la actividad humana en el pasado para la construcción de las fosas de las tumbas. Lo anterior se ha expresado en la cartografía generada a partir de los datos levantados en campo mediante la magnetometría.

Consideraciones generales

La correcta articulación de la prospección magnética y el empleo de drones, softwares de fotogrametría y herramientas SIG para la generación de cartografía facilitaron la identificación de contextos arqueológicos en distintos sectores del espacio investigado en la parroquia Perucho, y por tanto la ubicación de los cateos y los cortes de excavación con resultados satisfactorios.

En los sectores en los que hay una interacción de valores de la magnetometría, se han registrado evidencias de rasgos arqueológicos de tres tipos. El primero corresponde a remociones de suelos evidenciadas por la alteración de la estratigrafía a partir de los 350 cmbs y que están relacionados a contextos funerarios que datan de la época prehispánica. Por otro lado, en el sector noroeste del espacio investigado, hay interacciones de valores bajos y medios, que han arrojado evidencias de contextos funerarios de inicios del siglo XIX a partir de los 150 cmbs.

Finalmente, al norte del espacio investigado hay interacciones entre valores medios y altos y se registraron evidencias de varios paleosuelos. En uno de los cuales se registraron evidencias de contextos secundarios del precerámico.

Referencias

ECHEVERRÍA ALMEIDA, J. (s/a). *Glosario de Arqueología y temas afines*. Quito: INPC.

FASSBINDER, J. (2017). Magnetometry for Archaeology. En A. GILBERT, P. GOLDBERG, V. HOLLIDAY, R. MANDEL, & R. STERNBERG, *Encyclopedia of Geoarchaeology*. New York - Londres: Springer Dondrecht, Heidelberg. 499-514.

GALLEGOS AGUILAR, L. S., & PIISPA, E. J. (2020). *Geophysical prospection of archaeological sites for the recovery of cultural heritage around Yachay Tech University, Imbabura, Ecuador*. Universidad Yachay Tech. <http://repositorio.yachaytech.edu.ec/handle/123456789/227>

GARCÍA VÁSQUEZ, I., & FERNÁNDEZ-PEÑA, C. M. (2014). *La magnetometría de protones aplicada a la prospección arqueológica: nuevos resultados en el Valle del Duero*. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5047325.pdf>

HALPERIN, C. T., & MARTÍNEZ, G. (2006). Localizando evidencia de basureros y producción cerámica por medio de reconocimiento Geofísico en MotuL de San José, Petén. *XX Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, 1331-1346.

HESTER, T. (2009). *Methods of Excavation. Obtenido de Field Methods in Archaeology*. <https://www.perlego.com/book/1570286/field-methods-in-archaeology-pdf>

INPC. (2018). *PEE-LABINPC-41. Procedimiento Específico de Ensayo - Análisis de Prospección Magnetométrica*. Quito: Unidad de Laboratorio y Análisis INPC.

KUNA, M., KRIVÁNEK, R., CHVOJKA, O., & ŠÁLKOVÁ, T. (2021). The Late Bronze Age settlement site of Breznice: Magnetometer survey data. *Data in Brief*, 35. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.106793>

MOSQUERA, A. (2021). *Prospección Arqueológica en la Parroquia Perucho. Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: IMPQ.

MOUSSAVI ALASHLOO, S. Y., S., NAWAWI, M. N., SAIDIN, M., & ALASHLOO, M. M. (2011). Magnetic and 2D Electrical Imaging Methods to Investigate an Archaeological Site at Sungai Batu, Kedah, Malaysia. *3rd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering*, 42-49.

SCHMIDT, A. (2007). Archaeology, Magnetic Methods. *Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism*, 23-31. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4423-6_9

SORIN, A. (2019). A Magnetic survey at Histria Necropolis. *ASEG Extended Abstracts*, 2010:1-3. <https://doi.org/10.1081/22020586.2010.12041832>

SORIN, A. (2021). Magnetic Mapping and Seismoacoustic Investigations in the Altinum Submerged Archaeologic Site. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1-6.

UGALDE MORA, M., DYRDAHL, E., MONTALVO PUENTE, C., & CONSTANTINE CASTRO, A. (2020). *Excavación arqueológica en el sitio Tagshima*. Informe final. Quito: IMPQ.

WESTON, D. G. (2002). Soil and susceptibility: aspects of thermally induced magnetism within the dynamic pedological system. *Archaeological Prospection*, 207-215. <https://doi.org/10.1002/arp.196>

Autor/es



Andrés Alexander Mosquera Perugachi
andresrofacale@hotmail.com
Arqueólogo

Antropólogo con mención en Arqueología por parte de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador 2007- 2014. Técnico en producción de programas de radio y televisión por parte del Instituto Tecnológico Superior Particular CUEST. TV. Actualmente candidato a Master en Estudios Socioambientales con la tesis: "Sociedades complejas y modificación del paisaje en la subcuenca del río Pachijal. Parroquia Pacto". Posee excelentes conocimientos en la elaboración de diseños de investigación científica, fotografía, análisis de imágenes. Ha participado en varios proyectos como arqueólogo en los que destacan: Varios proyectos arqueológicos desde el 2009 al 2014, en sectores como Pambamarca, Catazho 2010, Rancho Bajo, 2012. Cantón Taisha, 2013. Rumipamba 2012–2013. Isla Puna 2013. Recito Ceibitos, Comuna Las Balsas, cantón Santa Elena 2014. Inspector de Tráfico Ilícito de Bienes Arqueológicos en la Dirección de Riesgos del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) 2015. Diseño y dirección del proyecto: "Reconocimiento arqueológico en Pompeya y Nuevo Rocafuerte. Provincia de Orellana" (INPC). 2016. Proyecto Metro de Quito. 2016-2017. Arqueólogo en la Dirección de Investigación y Diseño de Proyectos Patrimoniales del Instituto Metropolitano de Patrimonio. Investigación, diseño de proyectos de investigación, administración de la Reserva de Bienes Arqueológicos del DMQ. Período: agosto 2017 hasta la actualidad.



Carlos A. Vásquez Mora
Investigación Cultural

Químico por parte de la Universidad Central del Ecuador. Master en Diagnóstico y Estado de Conservación de Patrimonio Histórico por la Universidad Pablo de Olavide en Sevilla, España. Orcid: 0000-0002-1637-9540. Es experto en el manejo de técnicas de análisis químico cualitativo, cuantitativo e instrumental con énfasis en la espectroscopia aplicada, uso analítico del sistema de imágenes multiespectral (SIM) y caracterización de materiales de naturaleza orgánica. Es el responsable del área de microbiología y bioanálisis, además del manejo de técnicas de prospección magnetométricas aplicadas a la arqueología. Fue ayudante de

cátedra en el año 2012 de las asignaturas Química Ambiental, Química Agrícola, Organometálica, Cinética y Catálisis. De igual manera, participó de la XVI expedición ecuatoriana a la Antártida como investigador científico por parte de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador. Desde el año 2013 hasta la actualidad, se ha desempeñado como asistente de investigación e investigador Químico a tiempo completo en la Dirección de Investigación e Innovación del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural del Ecuador (INPC). Ha participado como expositor en varias conferencias sobre temas científicos relacionados al análisis de obras de arte y bienes culturales en varias instituciones públicas y privadas a nivel nacional e internacional. También es cotutor y asesor de varias tesis de pregrado en distintas universidades a nivel nacional.

Artículo enviado el 19/05/2022

Artículo aceptado el 12/06/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1118>

Color study of historic silks

M. L. Vázquez de Ágredos Pascual, R. Herráez-Hernández, P. Campíns-Falcó, L. Rojo Iranzo and E. Alba Pagán

Abstract: The chemical characterization of silk textiles of historic value may be necessary to achieve a better understanding of the production processes applied, to evaluate their preservation, to detect manipulations or forgeries, and to value the combination of tradition and innovation in contemporary manufacturing techniques. The main objective of this work was to study four historical silks from the Garín collection, all of them from the 20th century, although with 19th century designs. To this end, non-invasive spectroscopic and microscopy techniques were applied in order to obtain information on the dyes used during their production and their link with those used in the silk industry in previous centuries, and to ascertain their state of conservation. Moreover, the images in LM, SEM and CM are contributing to the development of a 3D virtual loom that will favor more accessible and inclusive museography in museums specialized in the silk sector. Both the study of dyes and silk fibers and their virtual reproduction through artificial intelligence programs applied to the study of cultural heritage, by specialists from the Robotics Institute of the Universitat de València, has been developed in the framework of the SILKNOW project (<https://silknow.eu/>).

Keywords: silks, colour, diffuse reflectance spectroscopy, natural dyes, Fourier transformed infrared - attenuated total reflectance (FTIR-ATR), microscopic image by LM, LMi and SEM image, SILKNOW

Estudio del color de sedas históricas

Resumen: La caracterización química de sedas de valor histórico puede resultar necesaria para alcanzar un conocimiento más preciso del proceso de producción aplicado, para evaluar su estado de conservación, para detectar posibles manipulaciones o falsificaciones, y para valorar la combinación de tradición e innovación en técnicas de manufactura contemporánea. El principal objetivo de este trabajo fue estudiar cuatro sedas históricas procedentes de la colección Garín, todas ellas de cronología del siglo XX, aunque con diseños del siglo XIX. Para ello se aplicaron técnicas no invasivas espectroscópicas y de microscopía, a fin de obtener información relativa a los tintes utilizados durante su producción y su vinculación con los empleados en la industria sedera en siglos precedentes, y conocer su estado de conservación. Las imágenes microscópicas, además, están contribuyendo al desarrollo de un telar virtual en 3D que favorecerá museografías más accesibles e inclusivas en museos especializados en el sector sedero. Tanto el estudio de las tintas, como el de las fibras sederas y su reproducción virtual a través de programas de inteligencia artificial aplicadas al estudio del patrimonio cultural, a cargo de los especialistas del Instituto de Robótica de la Universitat de València, se ha desarrollado en el marco del proyecto SILKNOW (<https://silknow.eu/>).

Palabras clave: seda, color, espectroscopía de reflectancia difusa, colorantes naturales, espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier - reflectancia total atenuada (FTIR-ATR), imagen microscópica por LM, LMi y SEM, SILKNOW

Introduction

Chemical analysis of silk textiles of historic and artistic value is needed in a variety of contexts, mainly to get an insight into the materials and techniques used for their production (Han *et al.* 2017; Tamburini 2019), to assess the preservation state of ancient pieces (Ahmed & Darwish 2012), and to detect manipulations or forgeries (Moini & Rollman 2017). In this respect, UV-Vis reflectance diffuse

spectroscopy is increasingly used for the characterization of the components responsible for the colour of the samples in replacement of liquid chromatography (HPLC) with diode array (DAD) and/or with mass spectrometry (MS), which are considered the reference techniques (Gulmini *et al.* 2013; Kramell *et al.* 2019; Shaid *et al.* 2019; Tamburini 2019). Likewise, the microscopic study of silk tissues also provides relevant information in historical studies (Hacke 2008; Gaitan *et al.* 2019), analyzes focused

on conservation and restoration processes (Kaplan *et al.* 1994; Miller & Reagan 1989), and 3D research oriented to new paradigms in inclusive, accessible and multisensory museography and dissemination (Kim *et al.* 2019). Focusing on diffuse reflectance spectroscopy, the popularity of this technique can be explained by the facts that the instruments are easy to use and the samples can be processed without a previous treatment. As a result, to use and the technique is suitable for on-site tests. In the analysis of valuable samples, reflectance diffuse spectroscopy is very attractive due to its non-invasive character. Even though the amount of sample required to obtain solutions amenable for modern HPLC instruments is very low, reflectance spectroscopy is a better option for the analysis of irreplaceable textile samples. The spectral information provided by diffuse reflectance spectroscopy is related to the electronic transitions of the dyeing molecules and, thus, to the dyestuff and materials used in the dyeing processes, as well as to the fibre substrates (Gulmini *et al.* 2013). Several works have been carried out during the past few years that report the application of reflectance spectroscopy to the characterization of the coloured species of textiles of different eras and cultures (Verhecken *et al.* 2014; Barbache *et al.* 2018; de Ferri *et al.* 2018; Tamburini *et al.* 2019a and 2019b; Tamburini & Dyer 2019; Ding *et al.* 2021) and, indeed, to the study of other valuable objects such as paints and manuscripts (Fonseca *et al.* 2019; Pottier *et al.* 2019).

Despite the progresses made during the past decade, the combination of diffuse reflectance spectroscopy with other non-invasive techniques that provide complementary information is still necessary to obtain complementary information that can be used for a better characterization of the colorants of textiles. Examples of such techniques are FTIR-ATR, scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray detection (SEM-EDX) or fluorescence spectroscopy (Barbache *et al.* 2018; Shahid *et al.* 2019; Petrovicu *et al.* 2019; al-Sharairi *et al.* 2020).

The main goal of this work was to study four historical silk samples from 19th century collections by different non-invasive spectroscopic techniques and by microscopy, in order to get a better characterization of the samples regarding to their production and preservation, without altering the sample. Non-invasive spectroscopy techniques, namely reflectance diffuse spectroscopy and FTIR-ATR, have been used to establish the chemical composition of the compounds responsible for the colors observed, and therefore, potential sources of dyestuffs used in the elaboration processes. Likewise, the microscopy studies developed in this research fulfilled two purposes (a) to verify the state of conservation of century-old silk fabrics, whose manufacture has been based on the combination of traditional and innovative techniques implemented in La Fábrica Garín, a national and international reference in the contemporary silk sector; and to obtain high-resolution images that will

provide information to experts in artificial intelligence (Institute of Robotics of the Universitat de València) who are currently working on the recreation of a virtual loom for museographic purposes.

Instruments and procedures

Spectrophotometric measurements on different points of the silk samples were carried out using a Cary 60 Fiber Optic UV-Vis spectrophotometer (Agilent Technologies, Waldbronn, Germany), fitted with a remote fiber optic diffuse reflectance accessory from Harrick Scientific Products (Mulgrave, Victoria, Australia). Data were recorded and processed using a Cary WinUV software (Agilent Technologies). The spectra were measured in the 250-750 nm range in diffuse reflectance mode.

Infrared characterization of the samples was carried out with a Cary 630 FTIR-ATR spectrophotometer from Agilent Technologies (Böblingen, Germany). Spectra were recorded in the frequency range of 4000-600 cm^{-1} at a resolution of 4 cm^{-1} . For data collection and processing, MicroLab FTIR and ResolutionPro softwares (Agilent Technologies) were used, respectively.

Optical microscopy of the silks was carried out using a Microscope LEICA EZ4 ocul 10x. For image processing, the LAS EZ (Leica Application Suite) program has been used. For its part, Leica DMI 3000 research inverted microscope (LMi), with long-lasting phase fluorescence and contrast with 2000-hour halide illuminator and fiber optic transmission. Filters for Dapi, Fluorescein and Rodamina has been used to complete the information obtained by optical microscopy. The objectives used have been 10x, 20x, 40x and 63x. Image acquisition system with high resolution and high sensitivity digital camera has been employed.

Scanning Electron Microscope-X-Ray Microanalysis of the silks was carried out using a Hitachi S4800 Field Emission Cannon Sweep electron microscope (FEG) with a resolution of 1.4nm to 1kV. This unit has a backscattered detector, RX Bruker detector, transmitted detector. In addition, it has the QUANTAX 400 program to do microanalysis and has five motorized axles

Four silk samples were tested. Sample S1 was a red silk fabric with different reddish and yellow embroidered ornaments. Samples S2 and S3 were dark and pale pink fabrics, respectively, with different reddish ornaments, while sample S4 was a brownish textile with ornaments of different hues, mainly dark red and yellow. Images of some of the areas tested throughout the study are shown below [figure 1A]. For sample S1, images of the fabric (area S1a; see figure 1c) and a yellow embroidered (area S1b) are shown, whereas for samples S2-S4 the images correspond to the grounds. The FTIR-ATR spectra of the tested areas were also recorded [Figure 1B].

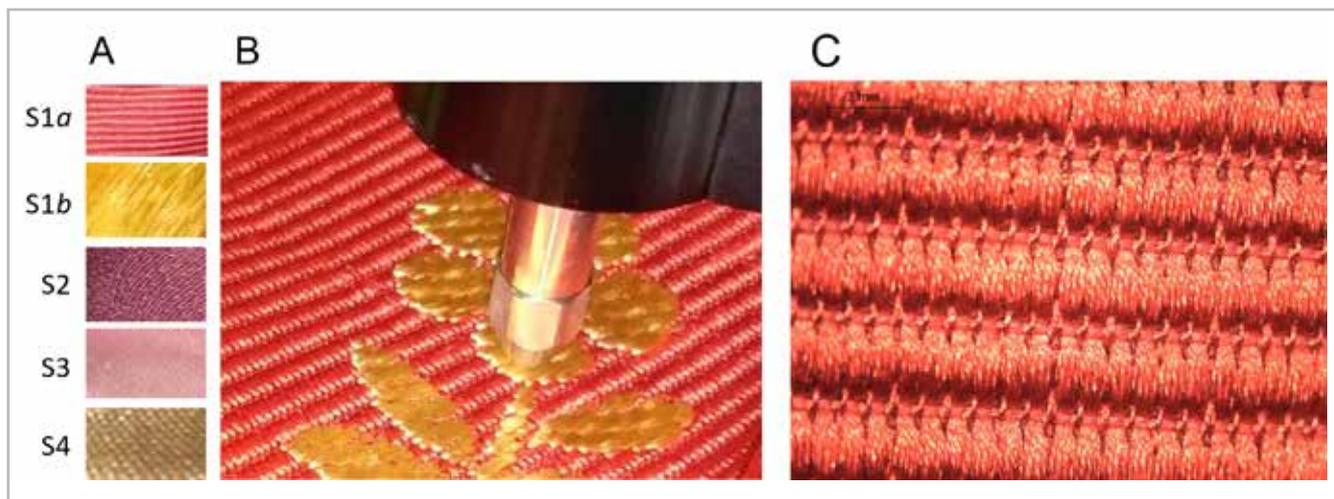


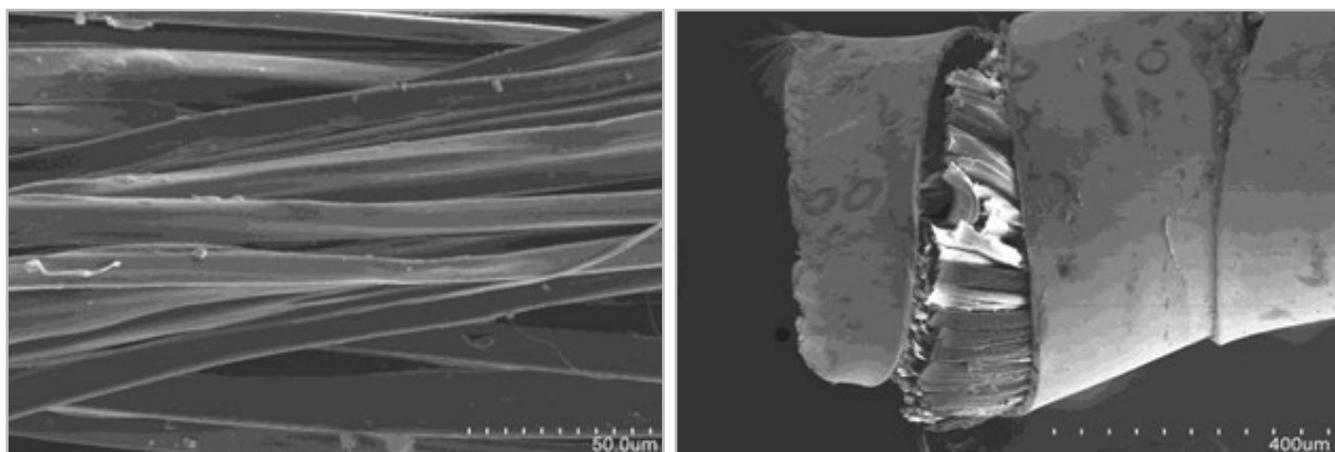
Figure 1.- a-b (left image). Images taken from: (A) the grounds of samples S1(S1a)-S4 and a yellow embroidery on sample S1 (S1b); (B) registration of the FTIR-ATR spectrum of area S1b. Figure 1c (right image). Figures 4 and 5. Optical microscope (LM) images of the red zone of the analyzed silk textile. The LM does not show the signs of deterioration that will be visible with the study of these silk fibers by Inverted Optical Microscope (LMI) and Scanning Electron Microscopy (SEM)

Results

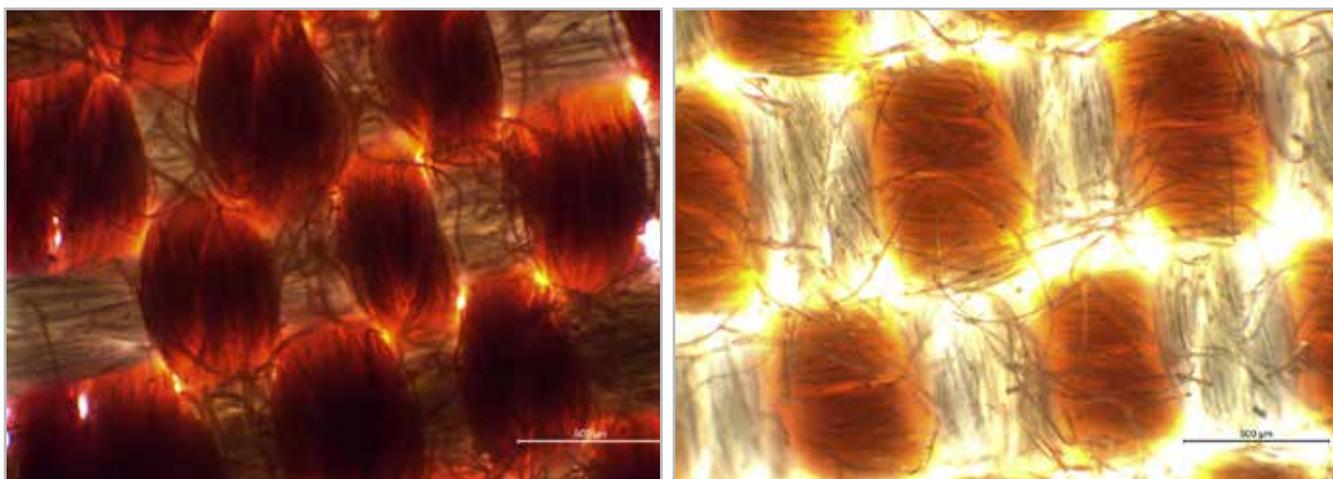
The microscopic images obtained by LM, LMI and SEM show (a) the continuity and smooth surface that are characteristic of silk fibers [Figure 2] and (b) the irregularities that are due to the original manufacturing process and different causes of deterioration [Figures 3, 4, 5]. In this last sense, Mikolaychuk and Pinyagina (1997) point out that in silk fiber there are irregularities since it is constituted the cocoon, which grow during embroidery (as a result of the handling and abrasion of the threads as they pass through the fabric), and mainly with aging, due to abrasion and the action of agents of chemical and photochemical deterioration. The deterioration of the silk fabrics studied is even patented in those areas in which the fibers are contained by the metallic wraps. Also, here it is possible to identify surface discontinuities and gaps between fibrils. In areas with-

out metallic wrapping, these fibers have also experienced notable breakage and detachment. In the development of the virtual 3D loom in which the specialists of the Robotics Institute of the Universitat de València are working through artificial intelligence programs, the information provided by these images will be considered not only at the level of fiber structure silk, but also its deterioration over time. In this way, this virtual 3D loom (currently in progress) will transfer tactile information that allows learning in line with the materiality of the silk, but also with regard to their degradation processes over time and other factors.

Moreover, this groundbreaking Loom acts as a digital memory of silk heritage as it preserves historical weaving techniques which most of them are only known by artisans who have kept alive this ancestral know-how. It conserves and documents several weaving techniques thanks to



Figures 2 & 3.- Figure 2 (left image). SEM image of the silk tissue studied. Note the continuity and smooth surface characteristic of the sea fibers. The image shows signs of deterioration, more visible in figures 3, 4 and 5. Figure 3 (right image). Figure 3 (left image). SEM image of the metallic wraps that surround the silk fibers in these historical fabrics, which show signs of deterioration (fraying and tears) despite the metallic covering.



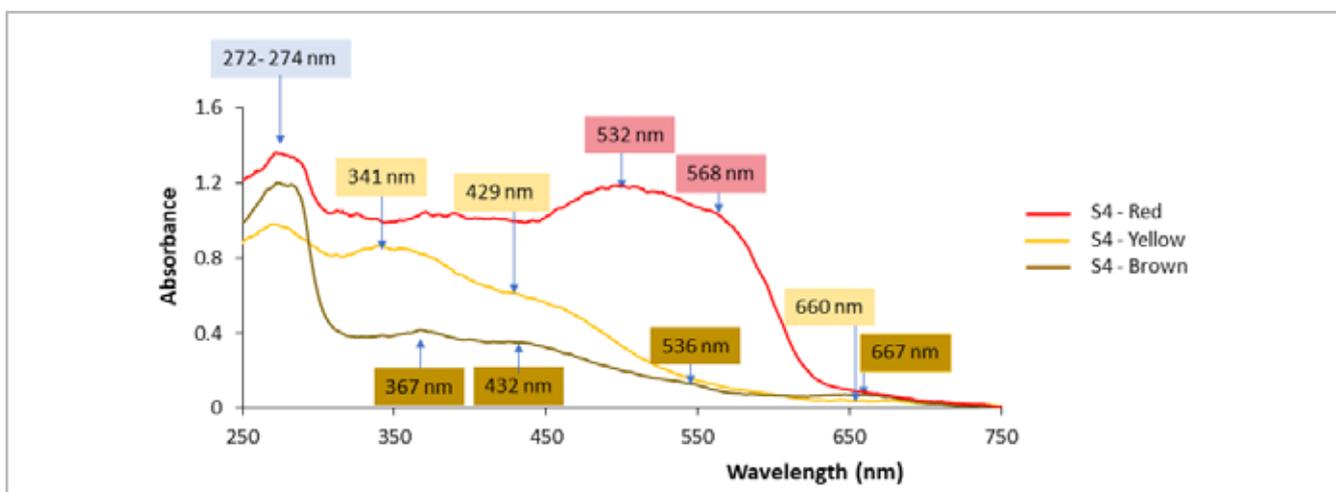
Figures 4 & 5.- Inverted optical microscope (LMI) images of the analyzed tissue in its red (left image) and yellow areas (right image). The signs of fraying and breaks in the silk fibers are visible, as a consequence of the natural aging of these silk textiles

its 3D visualization, which allows understanding the interlacement between wefts and warps by applying the necessary restrictions for each technique. Therefore, the Virtual Loom shows those techniques as they are in real life. For this, the catalog of microscopic images that we developed in the Laboratory of Analysis and Diagnostics of works of art of the Universitat de València, such as those presented in this contribution, has been of vital importance. Finally, the Silknow's Virtual Loom also enables traditional industries to reduce costs by letting them select colours and techniques with just a click, and it encourages designers to create fabrics from historical silk models. Besides, this tool allows the creation of new designs applied to sustainable and recycled materials in 3D printing.

The reflectance spectra were recorded at different positions of the samples tested. The obtained spectra were studied in order to allocate absorbance maxima and other relevant spectral features that could be related to the composition of the colorants used for dyeing the silks. First, the spectra registered at points of different colours of the same sample,

namely red, yellow and brown coloured zones of sample S4, were investigated [Figure 6]. The spectra recorded on the reddish zone showed an intense and well-defined band with a maximum at 273 nm. A large and intense band was also observed in the 500-600 nm region, with a maximum located at 532 nm; a shoulder was observed in this band at 568 nm. Absorption bands in this region are characteristic of compounds with red tones. Between those major bands, a wide and weakly structured band was observed. Absorption bands within this wavelength interval are characteristic of colorant with yellow chromophores.

A band similar to that found at 273 nm for the reddish area was also found for the other two areas tested, more specifically at 274 nm and at 272 nm in the spectra recorded from the brown ground and yellow ornament, respectively. The spectra registered in the yellow-coloured area, showed two significant bands at 341 and 429 nm (shoulder), and a minor band at 660 nm. Finally, the brown area (ground) of sample S4 showed bands characteristics of yellow colorants (at 367 and 432 nm), although their intensities were lower



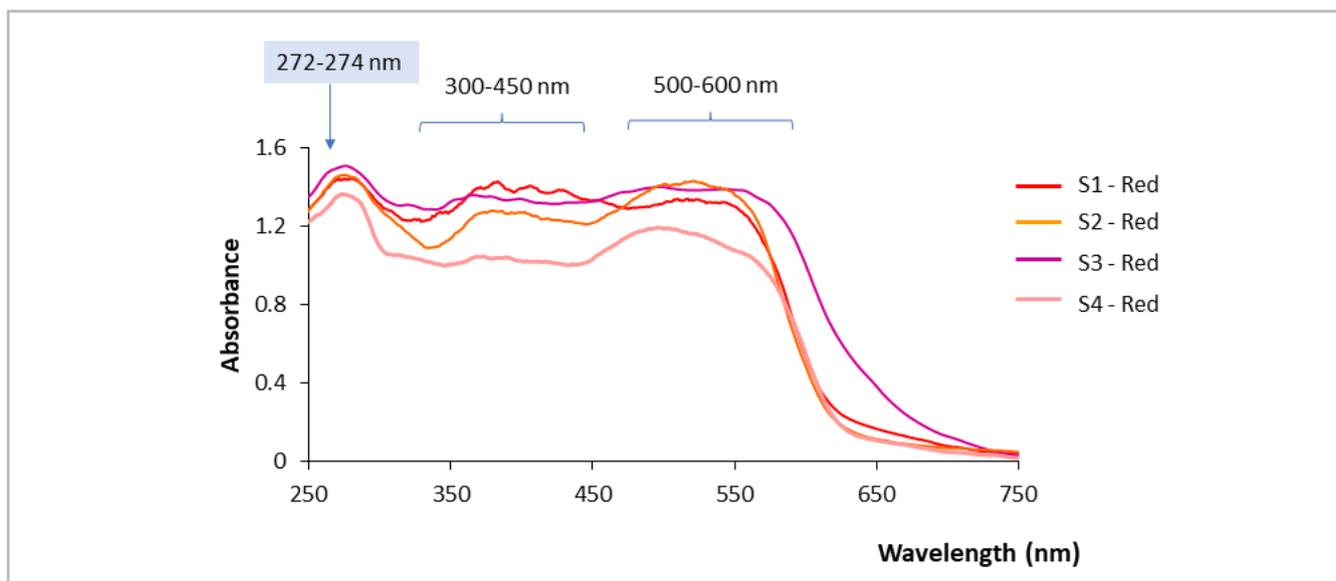
Figures 6.- Spectra registered for red, yellow and brown areas of sample S4.

than those observed for the yellow and red areas of this sample. A low intensity shoulder located around 536 nm was observed, which suggested that a small proportion of a red colorant was used in the dyeing process of the fabric. A minor band at 667 nm (purple hue) was also found in this area.

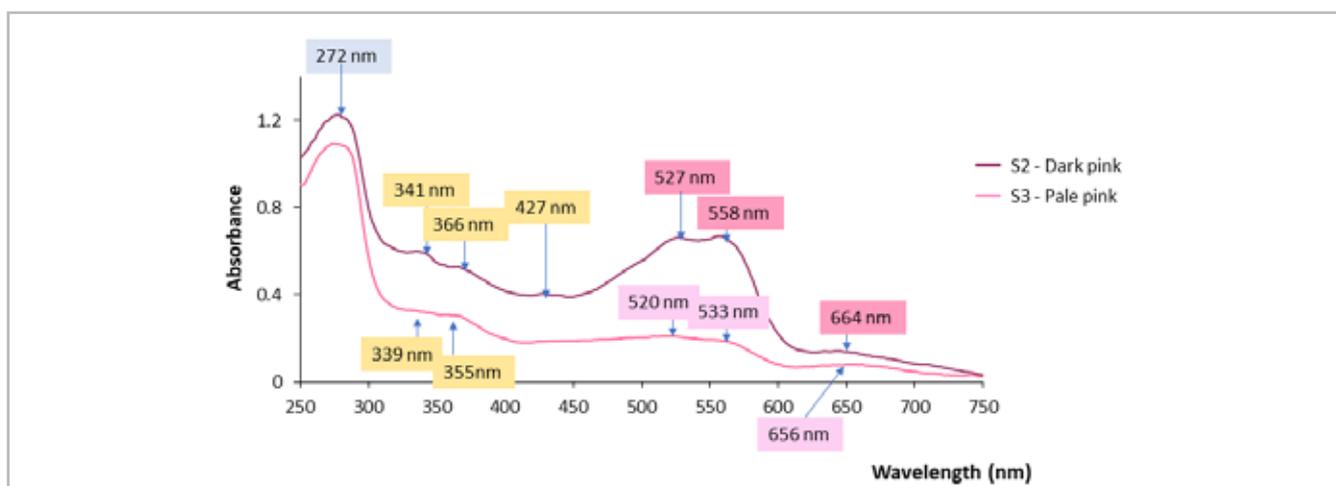
Next, the spectra collected for samples of similar hues were compared in order to establish possible similarities and differences regarding the colorants used to prepare them. Red areas, grounds or ornaments, of the four tested samples were selected for the study [Figure 7]. All spectra show a similar shape, with a characteristic band around 273 nm, a wide band in the region of red colorants (around 500-600 nm), and high absorbances between the above bands. The presence of weakly structured bands from 300 to nearly 650 nm is a common feature of red coloured textile fibres treated with different types of natural colorants (Barbache *et al.*, 2018). Despite the high absorbances measured, which were >1 in most part of the tested wavelength interval, different maxima and shoulders could be distinguished in some of

the registers. It is interesting to note the shift towards longer wavelengths observed for the band corresponding to the red chromophores for the sample S3, indicating a purple hue.

The spectra recorded on pink coloured grounds of samples S2 and S3 were also evaluated [Figure 8]. The spectral shapes of the two samples were rather similar, although in this case the absorbance values measured were much lower for sample S3 (pale pink fabric). The highest absorbances in both spectra correspond to the band located around 272 nm. Both samples presented significant absorbances in the region of yellow and red chromophores. The main difference between the two registers is due to the bands corresponding to the red colorants, which were much higher for the dark pink sample. In this region, two maxima allocated at 527 and 558 nm were observed for the dark pink fabric (S2), and at 520 and 533 nm for the pale pink fabric (S3). The registers also showed minor bands around 664 nm and 656 nm for S2 and S3, respectively.



Figures 7.- Spectra obtained for red areas of samples S1-S4.

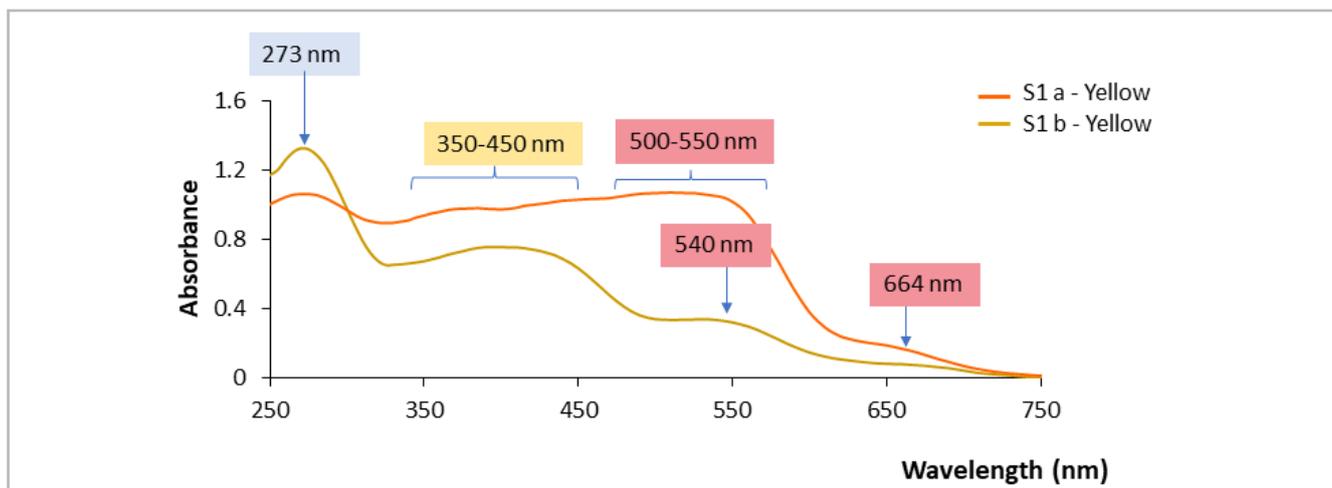


Figures 8.- Spectra obtained for pink areas of samples S2 and S3.

Finally, the spectra recorded for two yellowish ornaments of sample S1 were analysed [Figure 9].

One of the registers was obtained from the area marked as S1b in figure 1, while the other area tested corresponds to the area denoted as S1c. Besides the common band around 274 nm, both spectra showed significant absorbances around 350 nm, corresponding to the yellow chromophores, as well as in the zone of red colorants (around 500-550 nm), especially in that corresponding to S1b.

The most relevant information derived from the spectra of figures 6-9 were summarized in Table 1, which was then used to establish general patterns and differences regarding the colorants used to prepare the four silks studied. As it can be deduced from this table, most of the absorption bands found for the areas and silks tested belong to one of these four spectral regions: (i) 272-276 nm, (ii) 325-435, (iii) 500-568 nm, and (iv) 644-667 nm. The specific spectral details of each region, as well as the possible colorants responsible for such bands are addressed below.



Figures 9.- Spectra obtained for two yellow areas of sample S1.

The first region corresponds to the band centred around 272-276 nm. All samples and areas tested showed a single, well-defined, and intense band in this region. Moreover, this band presented a shape almost identical in all the samples. The above observations suggested that this band was due to the intrinsic components of silk, probably to the amino acids of fibroin. This is in agreement with the results reported by different authors that have shown that

the main amino acids of fibroin absorb UV radiation of this part of the electromagnetic spectra (Millington 2012). The intensity of this band varied slightly even between different areas of the same silk, as it can be observed for samples S4 and S1 [Figure 6 and Figure 9, respectively], which can be explained by the differences between the raw silks and the materials used during the production of the textiles.

Sample	Spot	Absorption bands (nm)						
S1	Red	276		397		521	556	
	Yellow ornament b	273	340		425	520	644	
	Yellow ornament c	273		370	435		535	664
S2	Dark pink	272	354	366	427	527	558	664
	Reddish ornament	272		385	405		530	
S3	Pale pink	273	339	355		520	553	656
	Reddish ornament	276		365		500	553	
S4	Red	273	330	365			532	568
	Dark red ornament	273	325		379	505		563
	Brown	274		367	432		536	667
	Yellow	272	341		429			660

Table 1.- Absorption bands found for the analysed points of the tested samples.

Within the interval 325-435 nm most of the spectra recorded showed significant absorbances. Bands in the 320-380 nm interval with maxima around 365 nm are generally attributed to flavonoid colorants, more specifically to $\pi \rightarrow \pi^*$ transitions of the carbonyl groups in flavonoid structures (Gulmini *et al.* 2013). Historically, weld and old fustic were used as the main sources of flavonoid colorants in Europe, being luteolin and apigenin (hydroxy flavones) the main ingredients in these dyestuff (Gulmini *et al.* 2013). Lutein and apigenin exhibit absorption maxima at 336 nm and 348 nm, respectively (Petroviciu *et al.* 2019). However, in dyed textiles important shifts may occur depending on the metallic cations used as mordants, and variation in the spectra shape can be observed even for samples that have undergone similar dyeing processes (Gulmini *et al.* 2013). In the present study, bands compatible with flavonoid colorants could be seen in areas where the absorbances due to red chromophores were low to moderate. This is the case of the pink fabrics and most of the areas of sample S4. The presence of bands in the 400-500 nm may be also due to the presence of carotenoids, although within this interval the absorption bands of the tested silks were less significant.

As regards the 500-568 nm interval, most of the tested silks and areas exhibited intense bands. In fact, because of the high absorbances in this region, the precise allocation of maxima was not possible in some of the spectra recorded. For most of the samples with lower absorbances in this region, two subbands could be clearly distinguished, which is characteristic of anthraquinone dyes. These two bands are due to $n \rightarrow \pi^*$ transitions of the carbonyl groups in the anthraquinone core; additional bands between 350 and 450 nm due to $\pi \rightarrow \pi^*$ are also characteristic of these compounds (Fonseca *et al.* 2019). The later band would be overlapped with the band corresponding to the yellow flavonoids. The main sources of anthraquinonic dyes are some vegetal species such as madder, which contains alizarin and purpurin and minor amounts of other coloured compounds, and dyes obtained from animal sources like cochineal insects, which contain carminic acid as the main colorant. The position of the two sub-bands can be related to the origin of the dye. Two sub-bands around 510-515 nm and 540-545 nm are characteristic of colorants of vegetal origin, whereas subbands at 520-525 and 550-565 nm are indicative of the presence of dyes of animal origin (Fonseca *et al.* 2019). According to the values obtained throughout the study [Table 1], most of the subbands observed are compatible with the presence of dyestuff of animal origin, most probably cochineal-type. Even though the two sub-bands in this region suggested a common source of dyes, small differences in the respective two maxima were seen between the samples, which could be explained by the employment of different mordants during the silk production. For example, in sample S3 the band on this region showed a colour shift of about 20-60 nm towards higher wavelengths (violet hue) [Figure 7]. Similar shifts have been described for dark pink-red textiles (Barbache *et al.* 2018). This shift can be due to the

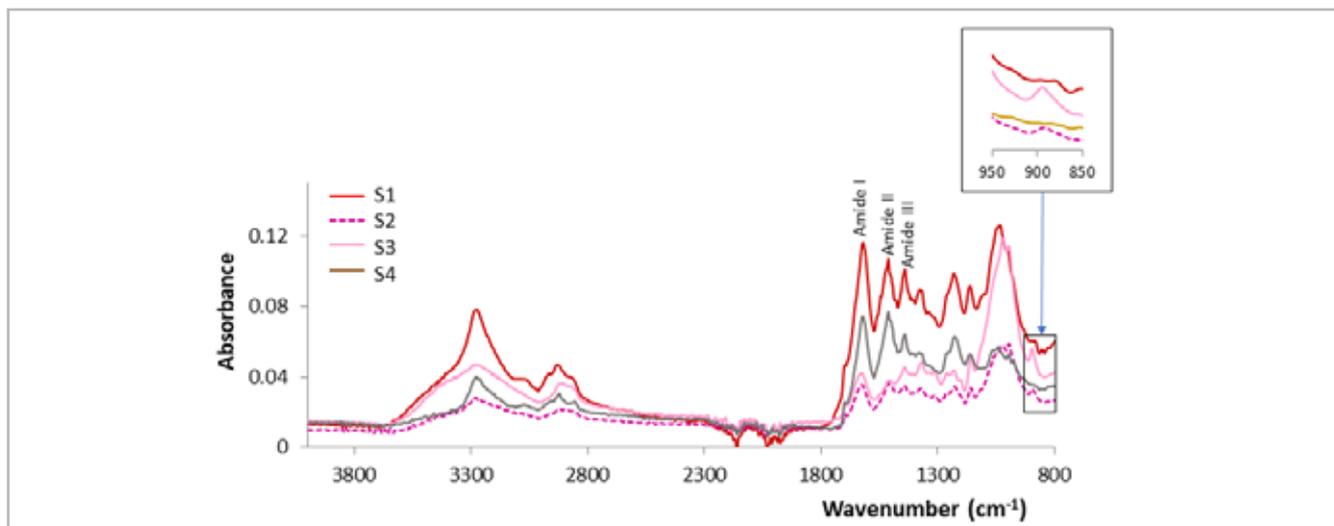
employment of a specific mordants (de Ferri *et al.* 2018) and/or to the employment of an alkaline media during the dyeing process. Basic media in the dyeing bath produce darker hues, whereas acidic pHs lead to orange tones (Barbache *et al.* 2018). A specific treatment under acidic media would explain the shift of the first subband towards shorter wavelengths in the red ornaments of samples S3 and S4.

Interestingly, the spectrum of the brown area of sample S4 showed a single band with a maximum at 536 nm. This suggests the employment of a colorant of different origin, probably tannins from a vegetal source (de Ferri *et al.* 2018; Tamburini and Dyer 2019). The shifting of this band towards higher wavelengths is also compatible with the presence of dyes of botanical origin such as madder. A band centred about 530 nm is also characteristic of red-ochre tones due to employment of safflower (Verhecken *et al.* 2014; Petroviciu *et al.* 2019; Tamburini *et al.* 2019a). Although cochineal colorants were massively used in Europe in replacement of other red dyestuff since the 16th, the employment of mixtures of dyestuff was a common practice during the next centuries (Gulmini *et al.* 2013; de Ferri *et al.* 2018).

Finally, some of the samples presented a single band in the 644-667 nm region. However, the intensity of such band was much lower than those found for the yellow and red chromophores. This band can be due to the presence of old fustic among the ingredients used during the dyeing process. Old fustic was typically used to produce yellowish tones, which is in agreement with the fact that this band was present in the three yellow areas studied, as well as in the brown zone of sample S4 (Gulmini *et al.* 2013).

The above results indicate that cochineal dyes were predominantly used to produce the red and pinkish silks. As regards the areas with red tones, the differences observed in the spectra suggests the application of different dyeing conditions (mordants and pHs) during the dyeing processes, and/or the employment of minor amounts of other dyestuffs. Intermediate absorbances due to yellow and red chromophores were found in the spectra recorded for the pink fabrics, which are indicative of the employment of mixtures of red (cochineal) and yellow dyestuff. The results obtained along the study suggest a predominance of flavonoids as yellow colorants, but diffuse reflectance is not considered adequate for the unambiguous identification of the source of yellow dyestuffs (de Ferri *et al.* 2018). An additional difficulty was that, as the yellow areas corresponded to embroideries, superimposed signals of the ground and the yellow threads were observed when the coverage of the fabric was not complete. The brown colour of sample S4 could be achieved through the combination of vegetal dyes containing flavonoids and tannins.

The studied silks were also analysed by FTIR-ATR for comparative purposes. The spectra recorded for the



Figures 10.- IR spectra obtained for the grounds of samples S1-S4.

grounds of the four silks tested are depicted in figure 10. All the samples showed the bands characteristic of the peptide bonds of fibroin at 1618-1625, 1510 and 1439-1443 cm^{-1} , known as amide I, amide II and amide III, respectively, with a relative intensity indicative of good preservation of the samples (Ahmed & Darwish 2012; Boulet-Audet *et al.* 2015; Badillo-Sánchez *et al.* 2019).

Most of the characteristic bands of natural organic colorants present similar vibrational spectral patterns. This may be indicative of strong intermolecular bonding between the silk substrates and the colorants (Al-Sharairi *et al.* 2020). However, a careful revision of minor bands in the spectra of figure 10 revealed differences that could be related to the identity of their dyes. This is the case of the band at around 894 cm^{-1} that can be observed in some of the registers of figure 10. According to the literature, carminic acid (the main component of cochineal dyes) presents, among many others, a band at 894 cm^{-1} due to the wagging vibration of $-\text{OH}$ groups (Koperska *et al.* 2011). As it can be observed in the figure, this band was present in the registers corresponding to the red-pink areas of samples S1 (894 cm^{-1}), S2 and S3 (both at 892 cm^{-1}), which also showed characteristic subbands of cochineal dyes in diffuse reflectance spectra (see Table 1). In contrast, the intensity of such band was negligible in the brown area of sample S4. No specific bands due neither to flavonoid nor to other compounds with yellow chromophores were observed in the FTIR-ATR registers.

Conclusions

Reflectance diffuse spectroscopy has been applied to study different areas of four historical silks, more specifically areas of yellow, pink, red and brown hues. The spectra collected have been examined systematically for spectral features that could be related to the composition of the colorants used in the dyeing processes. Four spectral regions have been set for the investigation of the silks, one

of them related to silk itself (around 272-276 nm). For the silks tested throughout our study, the region with higher discrimination power corresponded to the red colour (500-550 nm). The bands observed in this region allowed the identification of cochineal-type dyestuff in the samples, although important shifts were observed even for areas of similar colour, which can be explained by differences in the dyeing conditions (mordants, pHs). Those results were further con-firmed with the spectra obtained by FTIR-ATR spectroscopy. The bands observed in the spectral region corresponding to the yellowish (325-435 nm) and purplish tones (644-667 nm) were compatible with different natural dyestuffs, although they did not be attributed to any specific dyeing matter. Finally, the identified colors belong to silk fibers that have experienced the first signs of deterioration due to natural aging. Rips and frays are visible through Inverted Optical Microscopy (LMI) and Scanning Electron Microscopy (SEM) images. These same images in the LMI, SEM and LM are currently used for the development of new multisensory museographies and accessible through the Virtual Loom in 3D that has been commented on in the previous sections. The purpose of this tool is also related to the conservation of the memory and practice of a heritage of a tangible and intangible nature, as well as the need to lower costs for current artisans in specific phases of the manufacturing process, by having all this information in digital format.

Acknowledgements

The authors are grateful for the financial support received from the EU FEDER and the MCIU-AEI of Spain (project CTQ2017-90082-P), from the Generalitat Valenciana (PROMETEO 2020/078), EU FEDER Generalitat Valenciana (ID-FEDER/2018/049), EU FEDER- Generalitat Valenciana (ID-FEDER/2021/076). The authors also appreciate the funding received by the European Union through the SILKNOW project (Research and innovation program under grant agreement No 769504; European Union's Horizon 2020).

References

- AHMED, H. E., DARWISH, S. S. (2012). "Effect of museum conditions on historical dyed silk fabric with madder dye", *Journal of Polymers and the Environment*, 20: 596-606. <https://doi.org/10.1007/s10924-012-0421-x>.
- AL-SHARAIRI, N., SANDU, I. C. A., VASILACHE, V., SANDU, I. (2020). "Recognition of natural silk fibers, dyes and metal threads of historical Romanian textile fragments using the multi-analytical techniques approach". *Textile Research Journal*, 90 (15-16): 1671-1688. <https://doi.org/10.1177/0040517519898827>.
- BADILLO-SANCHEZ, D., CHELAZZI, D., GIORGI, R., CINCINELLI, A., BAGLIONI, P. (2019). "Understanding the structural degradation of South American historical silk: a focal plane array (FPA) FTIR and multivariate analysis". *Scientific Reports*, 9: 17239. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53763-5>.
- BARBACHE, S., LAMHASNI, T., EL BAKKALI, A., LYAZIDI, S. A., HADDAD, M., BEN-NCER, A., HNACH, M. (2018). "Optical analyses of wool dyeing materials in ancient Moroccan carpets "Zarbia(s)": combination of UV-Vis diffuse reflectance, 3D-fluorescence and raman spectroscopies". *Dyes and Pigments*, 153: 256-265. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2018.02.033>.
- BOULET-AUDET, M., VOLLRATH, F., HOLLAND, C. (2015). "Identification and classification of silks using infrared spectroscopy". *Journal of Experimental Biology*, 218: 3138-3149. <https://doi.org/10.1242/jeb.128306>.
- DE FERRI, L., TRIPODI, R., MARTIGNON, A., FERRARI, E. S., LAGRUTTA-DÍAZ, A. C., VALLOT-TO, D., POJANA G. (2018). "Non-invasive study of natural dyes on historical textiles from the collection of Michelangelo Guggenheim". *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 204: 548-567. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.06.026>.
- DING, L., GONG, T., WANG, B., YANG, Q., LIU, W., PEMO, R., METOK, T. (2021). "Non-invasive study of natural dyes in textiles of the Qing Dynasty using fiber optic reflectance spectroscopy". *Journal of Cul-tural Heritage*, 47: 69-78. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.10.013>.
- FONSECA, B., PATTERSON, C. S., GANIO, M., MACLENNAN, D., TRENTLMAN, K. (2019). "Seeing red: towards an improved protocol for the identification of madder and cochineal-based pigments by fiber optics reflectance spectroscopy (FORS)". *Heritage Science*, 7: 92. <https://doi.org/10.1186/s40494-019-0335-1>.
- GAITAN, M., ALBA, E. LEÓN, A., PÉREZ, M. SEVILLA, J., PORTALES, C. (2019). "Towards the Preservation and Dissemination of Historical Silk Weaving Techniques in the Digital Era". *Heritage* 2 (3), 1892-1911; <https://doi.org/10.3390/heritage2030115>
- GULMINI, M., IDONE, A., DIANA, E., GASTALDI, D., VAUDAN, D., ACETO, M. (2013). "Identification of dyestuffs in historical textiles: strong and weak points of a non-invasive approach". *Dyes and Pigments*, 98: 136-145. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2013.02.010>.
- HACKE, M. (2008). Weighted silk: history, analysis and conservation. *Studies in Conservation*, 53 (2): 3-15, <https://doi.org/10.1179/sic.2008.53.Supplement-2.3>
- HAN, J., WANROOIJ, J., VAN BOMMEL, M., QUYÉ, A. (2017). "Characterization of chemical components for identifying historical Chinese textile dyes by ultra high performance liquid chromatography-photodiode array electrospray ionisation mass spectrometry". *Journal of Chromatography A*, 1479: 87-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2016.11.044>.
- KAPLAN, D., WADE ADAMS, W., FARMER, B. and VINEY C. (1994). "Silk: Biology, structure, properties and genetics", en D. Kaplan, W. W. Adams, B. Farmer y C. Viney (eds.), *Silk Polymers: Materials Science and Biotechnology*, Washington D.C., ACs Publications, 2-16.
- KIM, S., SEONG, H., HER, Y., CHUN, J. (2019). "A study of the development and improvement of fashion products using a FDM type 3D printer". *Fash Text* 6, 9. <https://doi.org/10.1186/s40691-018-0162-0>
- KOPERSKA, M., ŁOJEWSKI, T., ŁOJEWSKA, J. (2011). "Vibrational spectroscopy to study degradation of natural dyes. Assessment of oxygen-free cassette for safe exposition of artefacts". *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 399: 3271-3283.
- KRAMELL, A. E., GARCÍA-ALTARES, M., PÖTSCH, M., KLUGE, R., ROTHER, A., HAUSE, G., HERTWECK, C., CSUK, R. (2019). "Mapping natural dyes in archaeological textiles by imaging mass spectrometry". *Scientific Reports*, 9: 2331. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38706-4>.
- MA, M., HUSSAIN, M., DONG, S., ZHOU, W. (2016). "Characterization of the pigment in naturally yellow-colored domestic silk". *Dyes and Pigments*, 124: 6-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dyepig.2015.08.003>.
- MIKOLAYCHUK, E., PINYAGNA, N. (1997). "Silk as a textile material, reasons of destruction", en stf Jubilee Conference: Silk. Different Aspects, Estocolmo, Urram, s/f.
- MILLER, J.E., REAGAN, B.M. (1989). "Degradation in weighted and unweighted historic silks". *Journal of the American Institute for Conservation* 28 (2): 97-115.
- MILLINGTON, K. R. (2012). "Diffuse reflectance of fibrous proteins". *Amino Acids*, 43: 1277-1285. <https://doi.org/10.1007/s00726-011-1201-y>.
- MOINI, M., ROLLMAN, C. M. (2017). "Buyid silk and the tale of Bibi Shahrbanu: identification of biomarkers of artificial aging (forgery) of silk". *Analytical Chemistry*, 89: 10158-10161. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.7b02854>.
- PETROVICIU, I., TEODORESCU, I., ALBU, F., VIRGOLICI, M., NAGODA, E., MEDVEDOVICI A. (2019). "Dyes and biological sources in nineteenth to twentieth century ethnographic textiles from Transylvania, Romania". *Heritage Science*, 7: 15. <https://doi.org/10.1186/s40494-019-0335-1>

[org/10.1186/s40494-019-0255-0](https://doi.org/10.1186/s40494-019-0255-0).

POTTIER, F., MICHELIN, A., KWIMANG, S., ANDRAUD, C., GOUBARD, F., LAVÉDRINE, B. (2019). "Macroscopic reflectance spectral imaging to reveal multiple and complementary types of information for the non-invasive study of an entire polychromatic manuscript". *Journal of Cultural Heritage*, 35: 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.06.001>.

SHAHID, M., WERTZ, J., DEGANI, I., ACETO, M., KHAN, M. I., QUYÉ, A. (2019). "Analytical methods for determination of anthraquinone dyes in historical textiles: a review". *Analytica Chimica Acta*, 1083: 58-87. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2019.07.009>

TAMBURINI, D., DYER, J., DAVIT, P., ACETO, M., TURINA, V., BORLA, M., VENDENBEUSCH, M., GULMINE, M. (2019a). "Compositional and micromorphological characterization of red colorants in archaeological textiles from pharaonic Egypt". *Molecules*, 24: 3761. <https://www.mdpi.com/1420-3049/24/20/3761>.

TAMBURINI, D., CARTWRIGHT, C. R., PULLAN, M., VICKERS, H. (2019b). "An investigation of the dye palette in Chinese silk embroidery from Dunhuang (Tang dynasty)". *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11: 1221-1239. <https://doi.org/10.1007/s12520-017-0592-4>.

TAMBURINI, D., DYER, J. (2019). "Fiber optic reflectance spectroscopy and multispectral imaging for the non-invasive investigation of Asian colourants in Chinese textiles from Dunhuang (7th-10th century AD)". *Dyes and Pigments*, 162: 494-511. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2018.10.054>.

TAMBURINI, D. (2019). "Investigating Asian colourants in Chinese textiles from Dunhuang (7th-10th Century AD) by high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry – Towards the creation of a mass spectra database". *Dyes and Pigments*, 163: 454-474. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2018.12.025>.

VERHECKEN, A., STORME, P., SCHALM, O. (2014). "UV-Vis reflectance spectrometry study of the dyed silks in a relic shrine found in Antwerp, Belgium". *e-Preservation Science*, 11: 99-104.

Author/es



M. L. Vázquez de Ágredos
m.luisa.vazquez@uv.es
ARSMAYA research group, Department of Art History, Universitat de València, Spain
<https://orcid.org/0000-0002-4433-8850>

She holds a doctorate in geography and history from the Universitat de València, and a second doctorate in art history from the Universitat Politècnica de València (Spain). She has taught in the Department of Art History, Universitat de València, since 2009. Belongs to the ARSMAYA research group, Universitat de València. Her research focuses on archaeometric and cultural

studies of drugs, colors and aromatics in antiquity, from ancient cultures from America and Europe. She is PI of the *Roma Hispana project. Artificial Intelligence and New Technologies applied to the study, musealization and dissemination of Spanish cultural heritage in Rome: la spezieria de Santa Maria della Scala* (AICO 2020/083; Generalitat Valenciana). She is also PI of the project: *Optimization of a Multiband Spectral System of Artistic Diagnosis focused to the implementation of innovative, sustainable and accessible Museum Itineraries: towards a Cultural Tourism in the key of Science, Inclusion and Well-Being applied to great Art Galleries* (EU FEDER- Gen-eralitat Valenciana (ID-FEDER / 2021/076). She has been a member of the SILKNOW project (No 769504; European Union's Horizon 2020). She is author of numerous articles in specialized journals, such as *Archaeometry, Journal of Archaeological Science, Journal of Cultural Heritage, or Analytical Chemistry*, among others, book chapters and books in prestigious publishing, such as Universidad Nacional Autónoma de México, the British Archeological Reports, Cambridge University Press, New Mexico University Press, among others



Rosa Herráez-Hernández
Rosa.herraez@uv.es
MINTOTA research group, Departament de Química Analítica, Facultat de Química, Universitat de València, Spain
<https://orcid.org/0000-0002-5106-0826>

Rosa Herráez-Hernández (Researcher ID: K-5645-2014; <https://orcid.org/0000-0002-5106-0826>) got a BSc degree in Chemistry in 1989, and the Ph. D. degree in 1992, both in the University of València. From 1992 she has been teaching analytical chemistry in the faculties of Chemistry, Pharmacy, Physics and Biology, and in the Technical School of Engineering. Since 2012 she is a full professor at the Department of Analytical Chemistry of the Universitat de València. Her research work has been carried out in the research group MINTOTA mainly in projects related to the analysis of drugs and environmental pollutants by chromatographic and spectroscopic techniques. She is co-author of more than 100 scientific publications, such as articles in specialized international magazines and different book chapters, and she has participated in numerous scientific congresses. She is also a member of panel experts of different quality agencies and specialized journals.



Pilar Campíns-Falcó
Pilar.campins@uv.es
MINTOTA research group, Departament de Química Analítica, Facultat de Química, Universitat de València, Spain
<https://orcid.org/0000-0002-0980-8298>

Pilar Campíns Falcó (orcid.org/0000-0002-0980-8298) got the BSc degree in Chemistry in the Faculty of Chemistry of the Universitat de València (1976-1981), and the Ph. D. (1985) with Doctorate Award. From January 2002, she is Professor of Analytic Chemistry. She has supervised more than fifty research projects sponsored by public or private organizations related to: several industrial

processes and environmental studies as regards pollutants, clinic studies in drug design and tumor markers (more than 250 published papers and 20 supervised Ph D). She has also experience on university management, she was the Vicerector of research and scientific policy of the University of Valencia since April 2014 to 2018. She founded in 1986 the miniaturization and total analysis methods (MINTOTA) research group. MINTOTA (<http://mintota.com/>) works in collaboration with other research groups and sectors, it has expertise in knowledge-innovation process (five patents). MINTOTA combines knowledge from chemical reactions, (nano)materials, transduction, calibration, accuracy, quality, sustainability, metrology, multiresidue analysis, solid phase (micro)extraction, chromatography, and in-situ analysis in several fields.

Artículo enviado el 25/05/2022
Artículo aceptado el 11/06/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1133>



Lucía Rojo Irazo

Lucia.rojo@uv.es

Technician of the Laboratory of Analysis and Diagnosis of Work of Art, Department of Art History, Universitat de València, Spain

Technician of the Laboratory of Analysis and Diagnosis of Work of Art, Universitat de València; Department of Art History, Universitat de València, Avenida Blasco Ibáñez 28, 46010 València, Spain.



Ester Alba Pagán

Ester.alba@uv.es

VALuART research group, Department of Art History, Universitat de València, Spain

<https://orcid.org/0000-0003-0858-1156>

She is a tenured professor in the Department of Art History at the University of Valencia. She has a degree in Geography and History, specializing in Art History, and a PhD in Art History from the Universitat de València. She is an extraordinary award for a Bachelor's and Doctorate from the University of Valencia and an Academic Recognition Award from the Generalitat Valenciana. She has recognized 4 six-year research and 4 five-year teaching. Her research activity focuses on the study and analysis of museology and museography and art criticism, with special attention to contemporary art and cultural heritage linked to the exchange and dissemination of ideas and knowledge, from the perspective of visual studies and the gender perspective. She has been the PI of the SILKNOW project: *Silk Heritage in the Knowledge Society: from punched cards to big data, deep learning and visual / tangible simulations* (Research and innovation program under grant agreement No 769504; European Union's Horizon 2020)

Red color characterization in several Roman frescos and paintings by in situ and remote LIBS, LIF and Raman Spectroscopies

Roberta Fantoni, Violeta Lazic, Francesco Colao, Salvatore Almagia, Adriana Puiu

Abstract: Nowadays, in situ pigments characterization on a cultural heritage relevant surface is possible by using combined laser spectroscopies which are suitable to detect at high resolution both molecular (Raman, LIF) and atomic sample composition (LIBS), the latter with stratigraphic capabilities and high sensitivity for trace detection. Their applications are here reported regarding the identification of historical pigments and dyes on different substrates, particularly in wall paintings, from pre-historic times up to the XIXth century when the use of synthetic substances became common. In this paper attention is focused on red colors, known since antiquity for the additional ritual and medical use. Their pictorial use along the centuries is shown and in selected cases provenances hypothesis, based on historical information, could be supported by results of composition analysis and elemental trace detection made possible by the application of laser technologies.

Keywords: laser spectroscopies, red pigments, trace detection, provenance studies, wall paints

Caracterización del color rojo en varios frescos y pinturas romanas *in situ* y remotas mediante espectroscopías LIBS, LIF y Raman

Resumen: Hoy en día, la caracterización de pigmentos *in situ* en una superficie relevante del patrimonio cultural es posible mediante el uso combinado de espectroscopías láser las cuales son adecuadas para detectar en alta resolución tanto la composición molecular (Raman, LIF) como la composición atómica (LIBS) de la muestra, esta última técnica con capacidades estratigráficas y una alta sensibilidad para la detección de trazas. En este artículo se exponen sus aplicaciones en la identificación de pigmentos y tintes históricos sobre diferentes sustratos, particularmente en pinturas murales, desde la prehistoria hasta el siglo XIX cuando se generalizó el uso de sustancias sintéticas. El artículo se centra en los colores rojos, conocidos desde la antigüedad por su uso ritual y médico. Su uso pictórico a lo largo de los siglos es demostrado y, en casos seleccionados, la hipótesis de procedencia, basada en información histórica, podría ser apoyada por resultados de los análisis de composición y detección de trazas elementales gracias a la aplicación de tecnologías láser.

Palabras clave: espectroscopía láser, pigmentos rojos, detección de trazas, estudios de procedencia, pinturas murales

Introduction

Along human history, early cultural heritage (CH) is frequently associated to painted surfaces with the use of mineral pigments and organic colors, their receipts assuming often the role of markers for social and technological development. Since pre-history, medicine and art were tightly bound for ritual use of paints and even for dual use of the material, either as medicine or sacred ornament in tombs and temples. To this respect red color carriers deserve special attention, for the ritual use of this color reminding the blood in sacrifices, and some magical power associated to their effective or supposed medical performance.

The development of mobile analytical tools for characterization of immovable CH surfaces corresponds to a remarkable innovation in the field (Miliani *et al.* 2010; Vandenberghe *et al.* 2016). Remote and in situ characterization of different types of painted CH surfaces relied on the use of laser-based prototypes developed for optical and spectroscopic investigation (Anglos *et al.* 1999), with possibility to release 3D models, 2D images, and point data information on composition and stratigraphy (Fantoni *et al.* 2017). In a significant example reported in Ceccarelli *et al.* (2021), laser scanner prototypes, developed at ENEA, were applied to investigate a well-known Etruscan tomb from the Vth century b.C. In situ measurements

were addressed to characterize the surface morphology and composition. More specifically, surface composition was investigated by Raman Spectroscopy (RS) and Laser Induced Fluorescence (LIF) Spectroscopy, while atomic composition was investigated by X-Ray Fluorescence (XRF) spectroscopy. Complete information on the used pigments (iron-based earths, copper blue) was achieved, confirming the early use in Italy of the first synthetic pigment: cuprorivaite known as Egyptian blue.

Innovative analytical techniques for the preservation of CH were recently critically reviewed (Magdy 2021). Specifically, the application of laser spectroscopic techniques (Nevin *et al.* 2012), such as LIBS, to CH material characterization for archaeology (Botto *et al.* 2019) and archaeometry (Spizzichino *et al.* 2014) were discussed in detail. Significant examples of laboratory and in situ application of Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) for compositional analysis and stratigraphy can be found for different historical findings such as ceramics (Lazic *et al.* 2018) and coins (Pardini 2012) from different ages. The complementarity of laser spectroscopies detecting atoms and molecular groups onto multilayered CH surfaces was previously stressed (Bruder *et al.* 2007), and recently confirmed in an in-situ campaign on a XIX century fresco (Romani *et al.* 2020).

Following, we introduce three widely used laser spectroscopies (RS, LIF and LIBS), suitable for in situ applications on CH surfaces. Innovative aspects of each commercial or prototype instrument are stressed in view of the considered application. As case study, we report information gained on red colors, utilized along the centuries from pre-history to modern times, with special attention to the red colors considered in the past for dual use, which was one of the subject of the recent Drugs and Colors conference*. The selected minimally invasive laser spectroscopic techniques were applied mostly in situ, in order to identify different historical red colors. The study is aimed to obtain information about the composition and realization technique of the painted surfaces and possibly to perform provenance studies, tracing commercial routes followed by the rough material.

Experimental

In this section the laser-based instrumentation utilized for laboratory and in situ spectroscopic analyses of CH painted surfaces is shortly presented, after recalling the respective expected analytical performance. Innovative aspects relevant to the considered CH surface to be characterized are stressed.

Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) is a multi-elemental analysis technique, based on the detection of the plasma plume spectrum generated by laser evaporation and ionization of a small volume at the surface. Its only micro-destructive character coupled to

stratigraphy abilities, made it very suitable to the analysis of multi-layered painted surfaces. The need of calibration with reference samples for quantitative analysis, is not a major drawback for the application to this type of surfaces, since semi quantitative data and trace detection are often sufficient to infer the information relevant to the composition and the provenance of the material found in each layer (Lazic *et al.*, 2020).

—*LIBS apparatus.* Nevertheless, prototypes of LIBS spectrometers for field use have been already developed (Gaona *et al.*, 2013) and are available in our laboratory (Lazic *et al.*, 2016), results here reported by LIBS have been obtained by a laboratory set up, since the technique was mostly applied to complete the investigation on fragments of Roman fresco's which could be safely transported to the laboratory where a microanalysis could be performed easily. The LIBS plasma was generated by an Nd:YAG laser (Quantel, CFR Ultra) emitting 6.5 ns long pulses at 1064 nm; the laser energy was fixed to 130 mJ. The beam was focused by a quartz lens $f = 100$ mm perpendicular to a horizontally placed target mounted on a micrometric X-Y table. The substrate height was slightly above the focal plane and the laser beam diameter was 0.30 mm, corresponding to a laser fluency of 42.5 J/cm² (6.5 GW/cm²). The plasma emission was collected at 60° from the target plane by an optical system of 25.4 mm diameter and having two quartz lenses with focal lengths of 75 mm and 150 mm, respectively. The light was focused on a 1 m long fiber bundle containing four quartz fibers of 600 μ m diameter each, that bring the signal to four compact spectrometers (Avantes AvaSpec-ULS2048L). The spectrometers cover the 200–796 nm range, with spectral resolution between 0.07 nm in UV and 0.16 nm in NIR. The sample support is mounted on a X-Y-Z micro-positioning system, and thanks to the on-line camera and the illumination system, it is possible to choose precisely spots on the targets to be analyzed. More details about the system are given elsewhere (Lazic *et al.* 2020). Micro-damages at the surfaces corresponded to holes with less than 1 diameter and analogous depth, as verified by the off-line optical microscope utilized for quantification of the ablation rate. On this type of samples, stratigraphy could be performed in the range 0 – 200 μ m, with a resolution of about 1.2 μ m. (Lazic *et al.* 2020).

Laser Induced Fluorescence (LIF) is used to remotely collect the emission induced by a monochromatic UV source onto a surface. Signals can be time (Nevin *et al.*, 2014) or spectrally (Romani *et al.* 2010) resolved and LIF systems allow for collecting hyperspectral images. Due to the scarce penetration of the UV radiation inside solid samples, the signal is strictly coming from the outermost surface layers. Spectrally broad emission bands detected can be related to chromophore groups present in modern varnishes (Marinelli *et al.* 2017) and consolidant or colors (typically dyes), a few mineral or synthetic pigments present also peculiar fluorescence bands (Borgia *et al.* 1998).

— *Laser Induced Fluorescence scanner*. For remote time and spectrally resolved LIF imaging a compact and easily transportable prototype has been developed by ENEA (Fantoni *et al.* 2013) and used on fresco's also inside a Roman catacomb (Almaviva *et al.* 2018). This hyperspectral LIF-art prototype is equipped with a Nd:YAG laser operating at 266 nm as excitation source with an energy of 1.5 mJ, a pulse duration of 8 ns, and 20 Hz repetition rate. A spectrometer (Jobin-Yvon CP240) allows collecting the light in the range of 190–800 nm with a spectral resolution of about 2 nm. The laser spot is focused on the target by a quartz cylindrical lens, resulting in a linear blade of light, allowing scanning linear sections of the target instead of single points. With a FOV of 5.7°, an image of 1.5×5 m² can be scanned in less than 2 min at 25 m distance (spatial resolution 2 mm). This one dimension focusing has also the advantage to drastically reduce the energy at each target point, thus avoiding any damage at the examined surface. The ICCD detector is an ANDOR iStar DH734 with squared pixels (1024 x 1024 pixels. 13 x 13 μm² each), mounted behind a slit parallel to the laser line footprint during the scanning. Time resolved LIF measurements are implemented by modulating the trigger signal of the CCD intensifier. At each selected time gate, the entire spectrum is acquired in the considered monochromator range. Reflectance images can be collected by the same apparatus after switching off the laser source. The prototype is completed by a customized software (SAGACE) with algorithms for image processing and automatic extraction of features relevant to conservation problems (location of bio attacks, of former consolidants and retouches, of discoloration and detachments).

Raman Spectroscopy is a consolidated technique used to identify molecular groups onto a painted surface (Sodo *et al.*, 2010). The low efficiency in generation of the Raman shifted emission bands restricts the application of the technique to point measurements use or micro-imaging. For CH applications portable devices have been commercially developed, which are equipped with a hand probe, alternatively the technique is used for high resolution laboratory measurements inside a microscope and referred as microRaman (Villar *et al.* 2005).

— *Laser Raman probe*. The Raman commercial spectrometer utilized is an *i*-Raman system (B&W TEK Inc., Newark, DE, United States) provided with a 785 nm GaAlAs solid state diode laser with power scalable in the range 3–300 mW (Almaviva *et al.* 2018). The detector is a 2048-pixel thermoelectrically cooled CCD (10 °C), equipped with a notch filter to cut the elastically-reflected Raleigh radiation. The spectrometer has a resolution of 3.5 cm⁻¹ and covers the spectral range 175–3200 cm⁻¹. For in-situ measurements a Raman probe with 1 m long optical fiber is used, choosing the point of interest after visual inspection and focusing the laser beam in a 90 μm spot diameter, with a working distance of 5 mm. For all measurements here reported, the laser power was set to few mW, to prevent photodecomposition of pigments at

the painted surface, with typical exposure times between 30 and 75 s for each spectrum and summation up to 3 spectra to increase S/N.

Results and discussion

In this section results obtained on different painted surface along the centuries are reviewed as significant case studies, since red colors utilized reflected material availability from natural resources and trades, and successive technological developments. The choice of the equipment was different in different campaigns, depending on the main objective in each case study pursued (which was not limited to the color palette identification), on the instrument's availability and on geometrical constraints of the examined site. Additional laboratory spectroscopic analyses were also performed upon availability of movable fragments.

Among the most common red mineral pigments and colors considered in the present work, dual use is well known for the widely used hematite and cinnabar (cosmetics, medicine), and for carmine (food and textile coloration, ritual use on bones in pre-Colombian burials). No reference to dual use for the other red colors was found.

— *Early Etruscan painted tombs*. The Tomb of Roaring Lions in Veio (nearby Rome) is the most ancient painted Etruscan tomb, dating back to the VIIIth century b.C. (between 700 and 690 b.C.- during the so called Villanovian period in Italy). Drawings, representing rows of animals (lions and ducks) with yellow, red and black colors, still appear on the walls. The roof of the tomb is red painted, as shown in the picture in Figure 1(top). Raman in situ analysis demonstrated the use of most ancient pigments: all earths based on different iron oxides, specifically hematite for the red and goethite for the yellow [Figure 1 bottom left and right]. No evidence of a calcite preparatory layer, typical for tombs painted later from the Vth century b.C. and on, was obtained. While black and yellow pigments were mostly used to paint the animals, a ritual use of hematite might be related to the red painted roof. A local origin of the iron-based pigments may be assumed, without any specific treatment for material purification.

— *Roman mural paintings and fresco's*. Later Raman in situ investigation on Etruscan tombs (Ceccarelli *et al.* 2021) and Roman paleo-Christian catacombs (Almaviva *et al.* 2018) revealed the use of calcite in the preparatory plaster and the addition of minium (red lead: Pb₃O₄) to the red palette. We may notice that with the progress of mining technology a new bright red color starts to appear on painted walls: the mineral cinnabar (HgS).

• Mitreum at Marino

In the second half of the last century, an underground temple dedicated to the cult of the God Mitra was discovered in Marino, a town on the Roman hills. The

importance of the discovery is mostly related to the pictorial representation of the God in the end wall of the structure, dating back to the IInd-IIIrd century A.D. An inscription reports that the temple was attended by slaves working in a nearby Peperino marble caves, that partially explain the simple realization of the wall painting without evidence of a proper plaster background. Nevertheless, in situ Raman investigation performed on the red colors demonstrate the use of the precious cinnabar together

with much cheaper hematite in some of the red painted parts. As Figure 2 shows, for instance the hat of Cautes the “dadoforo” (torch bearing) keeping the torch high and representing the day (on the left of the picture) is painted with cinnabar (HgS), as detected in the Raman spectrum reported on the right of the same figure. It seems that at the time of the realization of the painting the availability of cinnabar in Rome was such that it could be used even to decorate a temple attended by slaves.

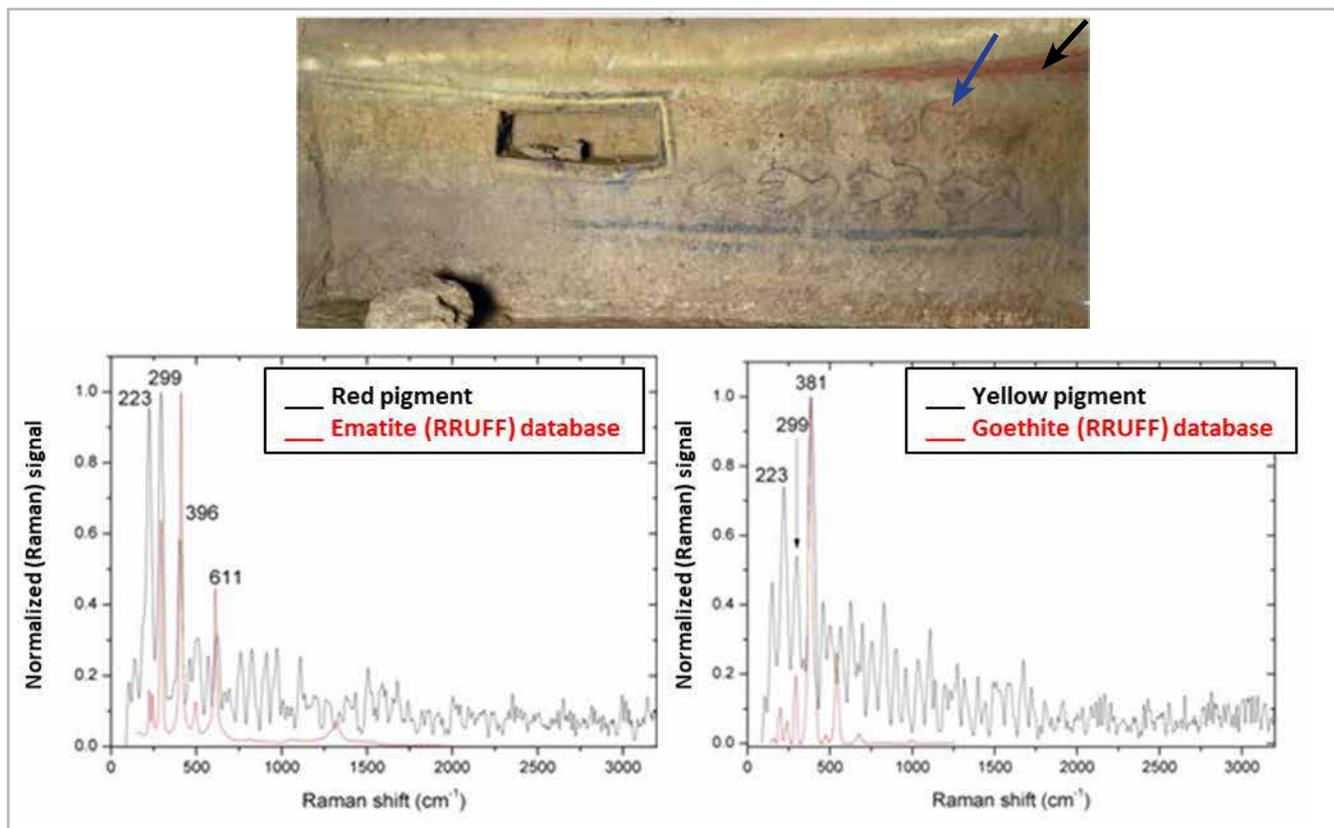


Figure 1.-The Roaring Lion Etruscan Tomb – Picture of the wall painted with lions and ducks rows, blue and black arrows indicate at the respective measurement points on the yellow and red decorations (top); Raman spectra after fluorescence background subtraction (bottom), the reference spectra (RRUFF database) used for the assignment are also shown: on the left from the red spot, on the right from the yellow spot.

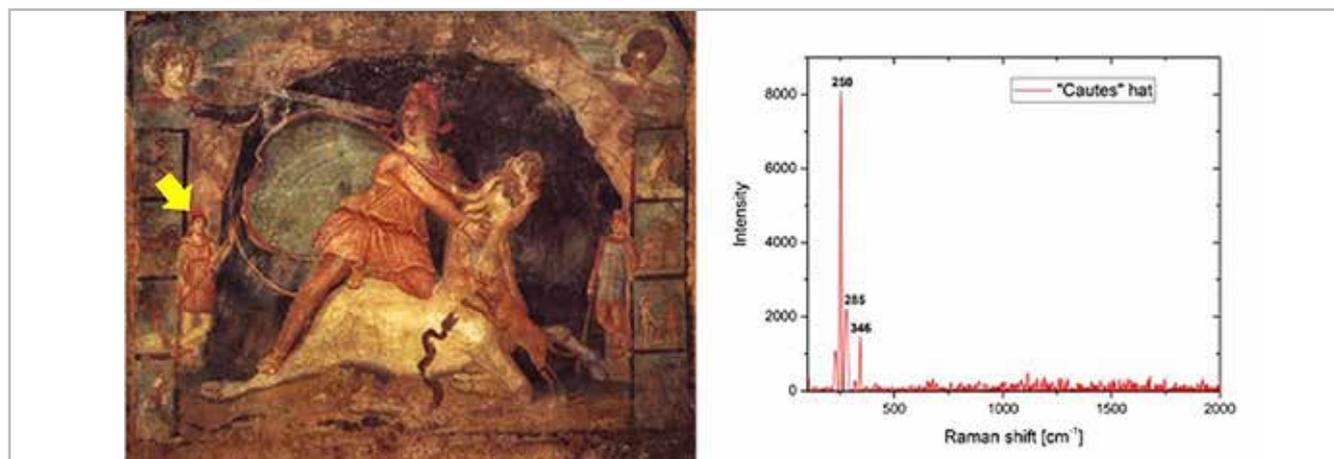


Figure 2.- Mitreum at Marino – Left picture of the wall painted with Mitra killing the bull, the yellow arrow marks Cautes’s hat where the Raman spectrum was collected. - Right Raman spectrum, where all peaks are unambiguously assigned to HgS.

• Fresco's in the thermal area of Roman "Villa della Piscina"

Fragments of Roman fresco's from Villa Della Piscina (a suburban villa in Rome) coming from a thermal bath complex with rooms from the Ist and IIIrd century A.D. were available for study addressed to the possible reconstruction of decorative motifs on the walls. Hundreds of painted fragments were found in a former swimming pool basin from middle-age demolition. Attempts to reconstruct original painted rooms rely on both materials identification and stylistic considerations.

First spectroscopic investigations were carried out in the place where the fragments were stored, by using in situ different spectroscopic technique ranging from optical reflectance spectroscopy and XRF, to LIF, FT-IR and Raman spectroscopy. The main components of the color palette were assigned (Sbroscia *et al.* 2020): the use of natural (malachite) and synthetic copper based colors (Egyptian blue and green) was ascertained for blue and green colors. Concerning the red, the bright and dark colors were related respectively to the presence of cinnabar and red ochre (a mixture of hematite and magnetite). The contemporary presence of both type of red suggested deeper studies, which were conducted on selected fragments with more complex laboratory set-ups.

A green-white-red striped fragment from a room ceiling (n. 40) was examined at LABEC-INFN (in Florence) by PIXE (Proton Induced X-ray Emission). The obtained results (Vadrucci *et al.* 2020) showed that the red pigment could be associated to the presence of both cinnabar (HgS) and red ochre (F₂O₃, Fe₃O₄). However, using a single proton energy, it was not possible to establish if the red pigment was a mixture of large cinnabar grains with fine ochre powder or two separated layers have been painted on top of each other. Arsenic traces were detected in the red pigment, thus either of the two minerals might have origin from Monte Amiata in Tuscany. From the space distribution of lead traces, clearly detected in this case, no evidence of a specific lead based pigment was obtained, so these might come from the calcite substrate as impurity, and not be related to minium addition.

In order to disentangle the problem with the contemporary use of different red colors and possibly to obtain information about their provenance another sample (n. 35) [Figure 3 top] was examined by LIBS (Lazic *et al.* 2020). This sample was showing also the presence of more than one pigment in the green layer. Elemental semi-quantitative LIBS analysis confirmed the presence of both iron based green earth (Celadonite: K(Mg, Fe²⁺)(Fe³⁺,Al)(OH)₂) as main pigment and a copper and carbon based pigment, suggesting a mixture with Malachite (Cu₂(CO₃)OH₂). LIBS stratigraphy performed on a green spot confirmed the presence of both pigments in the same painted layer for the first 13 μm thickness.

On the red color composition, the present study required particular attention, since the detection of Hg (signature

for cinnabar) in the presence of Fe (signature for red ochre) becomes tricky. In pigments containing Fe it is important to select analytical Hg I lines with minimum spectral interference. For instance, the most intense Hg I line at 253.65 nm fully overlaps with one intense Fe II line (not shown). There are other possible spectral features for detecting Hg I in common paintings, e.g. the Hg I lines at 312.57 nm and 313.18 nm have only a weak contribution of Fe I lines [Figure 3a]. In particular, the Hg I line at 313.18 nm is rather intense and without significant under laying peaks from other elements in the examined pigments, thus in the following we shall consider this Hg I for analysis. The Hg I line at 366.33 nm is too close to one also intense Fe I line [Figure 3b], and in this case the evaluation of Hg content in sample would require peak deconvolution. The analogue need for a peak deconvolution regards the Hg I line at 435.83 nm [Figure 3c]. On the other hand, the Hg I lines at 576.96 nm and 579.07 nm are free of interference [Figure 3d] but they are weak and their choice for tracking this element in samples would lead to high detection limits.

Once selected the proper Hg emission line, it was possible to solve the question of mixed or overlapping red layers containing different pigments. As shown in Figure 4 (left) on the examined sample, the final red color is obtained overlapping a back layer of cinnabar with an equally thin layer of red ochre. The detected alternation of Fe and Hg intensity in the stratigraphy at the first 9 μm, corresponds to red ochres in the outermost 5 μm on top of a 4 μm thick cinnabar layer.

In contrary, on the orange decoration added a secco with organic binders, an alternative use of cinnabar, within a thin 1.2 μm layer on top of goethite, was observed. In both cases the Ca I lines used for normalization were selected to have the closest excitation level with the analytical lines from the examined elements (Lazic *et al.* 2020).

Here the following question arises: why bright cinnabar was covered by darker hematite to obtain red colored areas when using the fresco technique? Since antiquity cinnabar was used in wall paintings, even if it was known to suffer from sunlight and humidity degradation leading to a blackening of fresco's (Plinio). Different mechanisms for the cinnabar blackening (Nöller 2014) were examined in a detailed study carried out by synchrotron radiation (Cotte *et al.* 2006), where the formation of chloride and sulfates was observed in fragments of fresco excavated from the Pompeian area. Specifically, the Cl addition might be related to the use of a protective wax on fresco, which was processed in salty water before use (Plinio), while sulfatation might come from gypsum added to the mortar. In our case no trace of gypsum was found in the mortar by X-Ray Diffraction (Sbroscia *et al.* 2020), so the observed unusual stratification might be attributed to the fear for blackening which might occur in the humid thermal environment where the fresco was located. Whatever reason may lead to the blackening of cinnabar, apparently the painter decided to cover cinnabar in the fresco with a layer of hematite for a protective purpose.

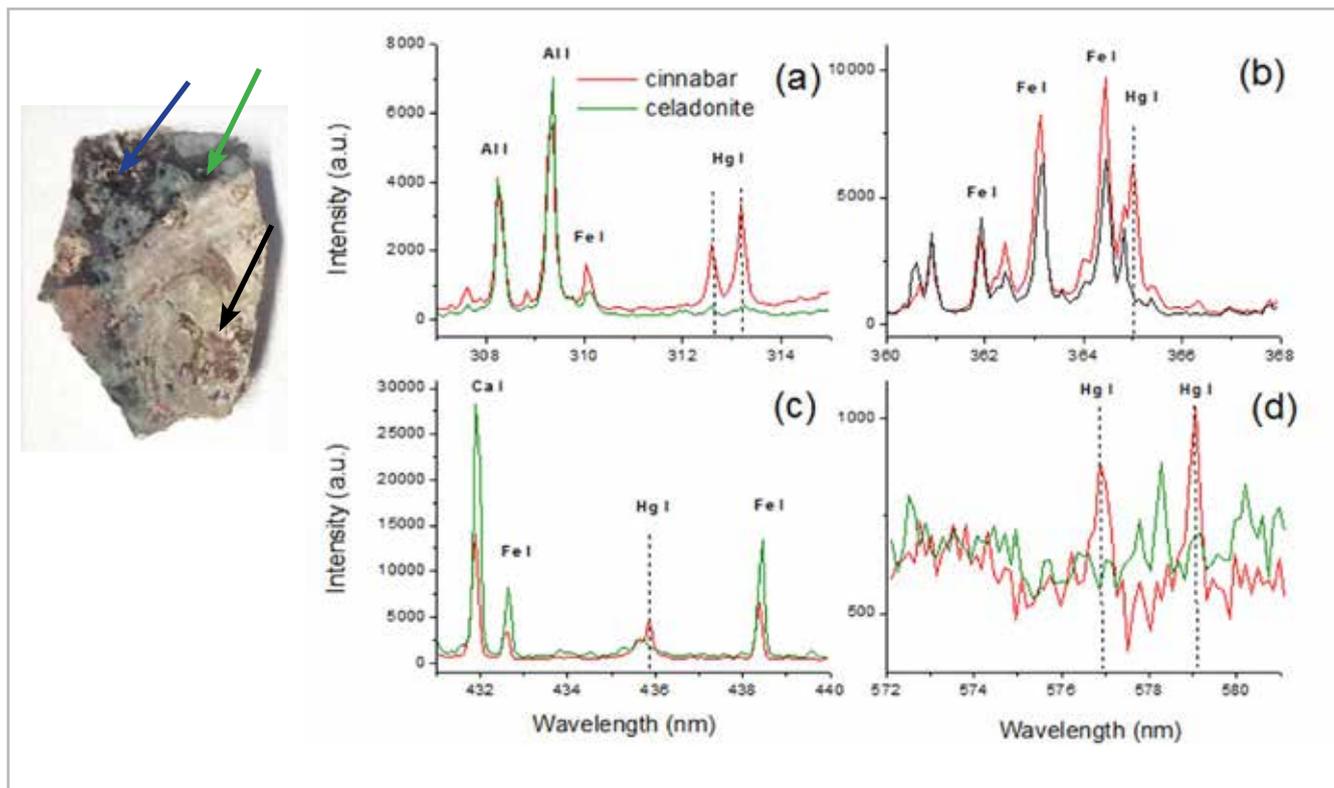


Figure 3. - Picture of the examined Roman fresco sample (top), blue and black arrows indicate respectively the dark red and light red investigated areas; Characteristic spectral intervals (a-d) for identification of Hg I in mixtures with iron based pigments: red line – spectrum on red area (blue arrow), green line – spectrum on green area (green arrow), both acquired by the 5th consecutive laser pulse on the same sample (bottom).

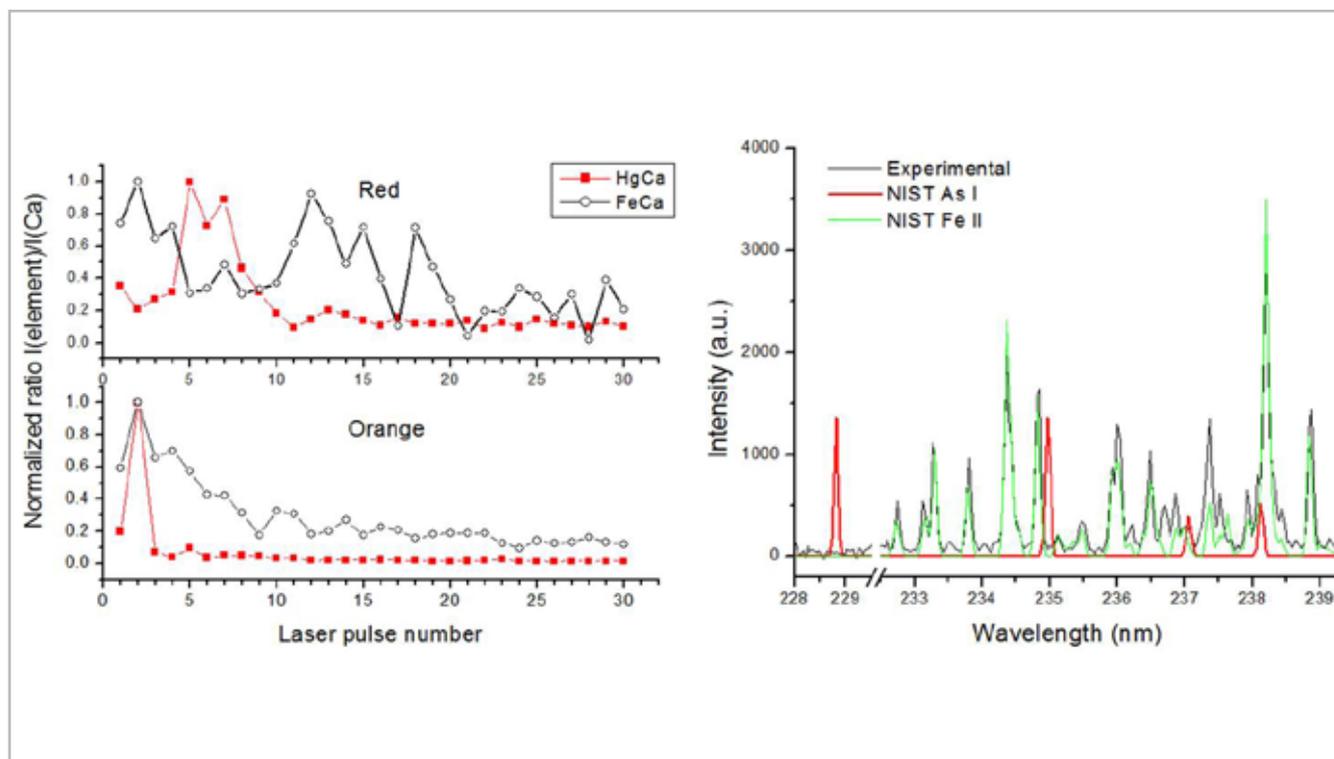


Figure 4. - Left: normalized in depth variation of LIBS line intensities from Hg I (313.8 nm) and Fe I (438.35 nm) measured on the dark red area marked by the blue arrow in fig. 3 (top) and orange area marked by the black arrow in fig. 3 (bottom) of the sample. Right: a portion of the LIBS spectrum collected at the 5th laser shot on red area, and the theoretical spectral lines (NIST database) from Fe II and As I.

The very low iron content in the mercury rich intermediate layer for the red painted areas of the fresco offered the possibility to further investigate cinnabar provenance. In the red area, the most intense Hg I lines occurs for the 5th laser pulse. Also here, we did not observe any presence of As, as shown in Figure 4-right where the experimental spectrum is compared with the theoretical most intense As I and nearby Fe II lines according the NIST database. Since no arsenic traces were detected together with Hg, the possible provenance of cinnabar from Monte Amiata could be ruled out and present data support the suggested cinnabar provenance from the Spanish Almadèn mine (Sbroscia et al. 2020).

— *The red color in paintings from XVIth-XVIIIth century.* In the middle age the color palette remained basically unchanged, with major or minor utilization of materials from Asia depending on the availability of commercial routes. The situation changed with America discovery and trades from the West India route towards Spain and Portugal. Specifically, a new red was introduced for different use, including paintings. The new color had an organic origin, carmine was indeed coming from the cochineal insect body and widely used as colorant in the Pre-Colombian American art (painting), ritual ceremonies (on bones in burials), and every-day life (dye for cloths). After diffusion in Europe it was used as well as food and beverage color up to modern times, as probably in *Aquae Elixirs* offered at *Spezieria di Santa Maria della Scala* in Rome since the XVIIth century, an ancient pharmacy run by the Spanish order of the Discalced Carmelite Friars.

- Spanish mural paintings

Remote LIF imaging campaigns were conducted on Spanish mural paintings in Andalusia, to ascertain their conservation status (Ortiz et al. 2015). Although most historical mineral pigments do not present detectable fluorescence emission in the plaster, one of the investigations was addressed to explore the chances of identifying the color palette by LIF

spectra collected (Gomez-Moron *et al.* 2020). To this aim, reference LIF spectra were first collected on pure color samples in powder and on models of their application in fresco made according the original receipt. For the red palette both carmine lake (from cochineal) and vermilion (being vermilion the modern name for synthetic cinnabar) were considered. In Figure 5, reference LIF spectra obtained from both type of samples are reported. The powder spectrum shows a characteristic red emission for carmine from cochineal, which persists in the fresco model and is well above the vermilion tail observed in the same spectral region; despite the substrates difference, significant variations in the intense fluorescence signature of carmine from cochineal were not detected. Note that in the fresco model, the blue-green band common to both the samples is useless to pigment identification because it is coming from the plaster (Gomez-Moron *et al.* 2020).

The case study reported in (Gomez-Moron *et al.* 2020) is relevant to the XVII century fresco on the vault of the Chapel of Our Lady of the Good Air in San Telmo Palace, Seville (Spain). Spectrally resolved fluorescence images were collected by using the hyperspectral ENEA LiF art prototype. Principal Component Analysis of the data collected from the entire image, revealed a significant red component peaked around 600 nm [Figure 6 top] in the PC4 and to a less extent also in PC5, supporting the use of carmine lake from cochineal in all red painted areas. The lack of a closer and more specific band overlap between the red component of the spectra of figure 5 and the corresponding one in the PC4 and PC5 in figure 6 is explained by considering that the PCA does not provide components with a physical sense like; indeed, it only shows trends occurring in form of bands which, in contrast with each other, originate from the underlying physical components. Projection by Spectral Angle Mapper (Dennison *et al.* 2004) of the fluorescence spectral signature obtained in red areas onto the entire images data set permitted to reveal the use of carmine not only on central character's red dress [Figure 6 bottom left] but also

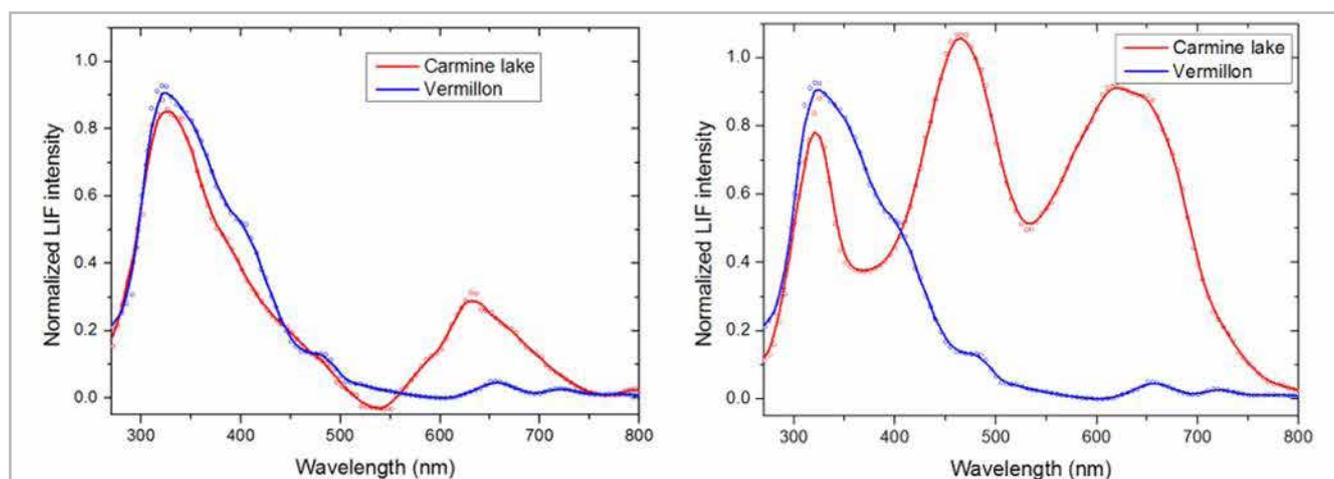


Figure 5. - LIF spectra of considered red colors in powder (left); the same spectra collected from model of red painted fresco samples (right). The used pigments are detailed in the legend.

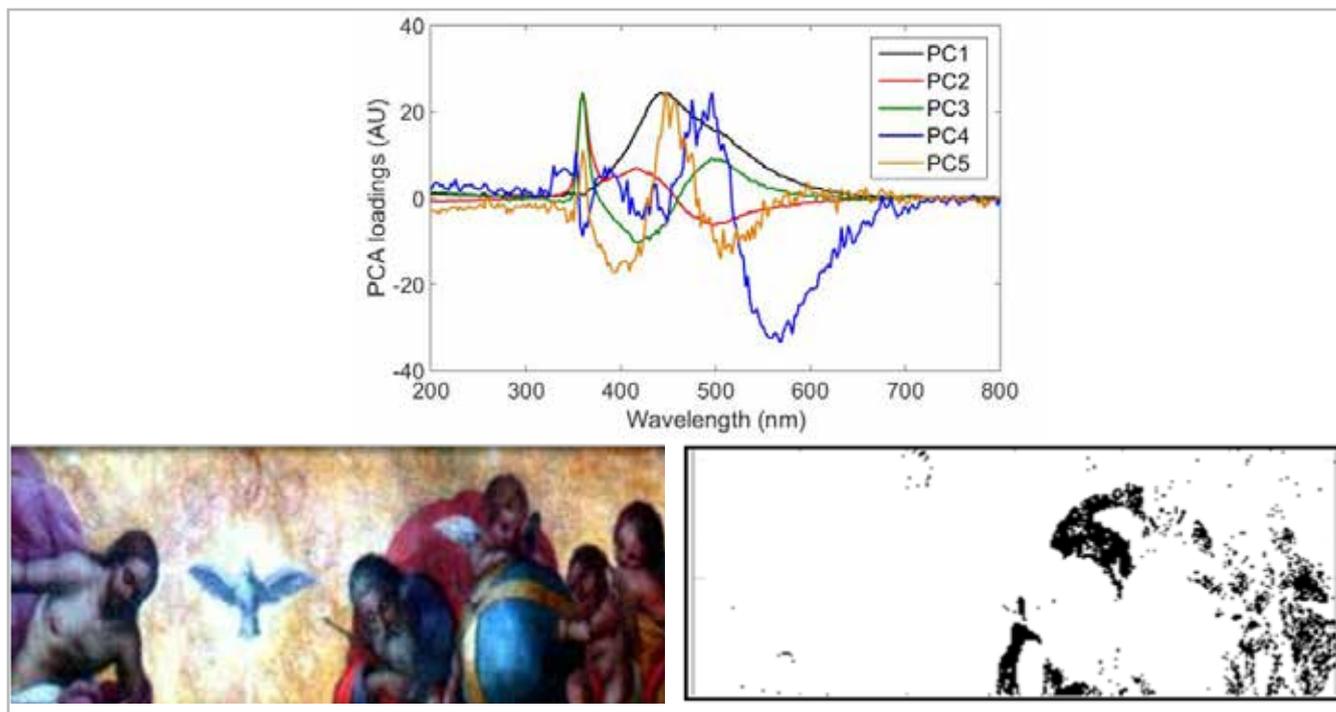


Figure 6.- Top PCA analysis of the spectra collected on the area shown in the reflectance image (bottom left); bottom right the carmine lake distribution in the same area as obtained by SAM projection of the reference LIF spectrum.

as spot in other areas [Figure 6 bottom right]. Analogous results were obtained on a different portion of the vault, considered in the analysis performed by (Gomez-Moron *et al.* 2020).

The use of carmine from cochineal witnesses the importance in Spain of trades from America in the XVIIth century.

- Italian oil paintings on canvas

Within a cooperation with the restorer EURESARTE s.l.r. two paintings (oil on canvas, realized between XVIIth and XVIIIth century in central Italy) were examined in situ at the restoration place in Macerata by the ENEA Laser Raman probe operating at 785 nm. The paintings were “Annunciation” by Giovanni Battista Brughi, “Emmaus Dinner” by Filippo Bellini, realized at the beginning of the XVII and of the XVIII century, respectively. Aim of the work was to identify the color palette and all materials used in the realization and in former restorations. Concerning red colors, main question was the use of cinnabar in red and pink painted area.

In situ spectra collected in red areas of Emmaus Dinner (XVIIth century) and Annunciation (XVIIIth century) revealed a diffuse use of cinnabar (named vermilion in modern times) for red and pink colors, from dark to light nuances, in combination with lead white or red ochre, respective Raman shifts are reported in Table 1. Examples, shown in Figure 7 and Figure 8, report results obtained on red cloths, skin and lips. Linseed oil was used as binder in these paintings on canvas, for which a strong fluorescence signal

was found in all the examined points and subtracted to the Raman features ascribed to the pigments. No utilization of carmine lake was detected either in the older nor in the more modern painting, since its characteristic Raman peak at 1318 cm⁻¹ upon laser excitation at 785 nm (CHSOS database) was not present in any of the paintings.

Raman shift (cm-1)	Assignment
106, 1050	Lead White 2PbCO ₃ :Pb(OH) ₂
250, 285, 346	Vermilion (Cinnabar HgS)
398	Red ochre (hematite F2O3)

Table 1.- Assignment of red and pink color on the examined oil paintings on canvas. Measurements points are marked in figure 7 and 8.

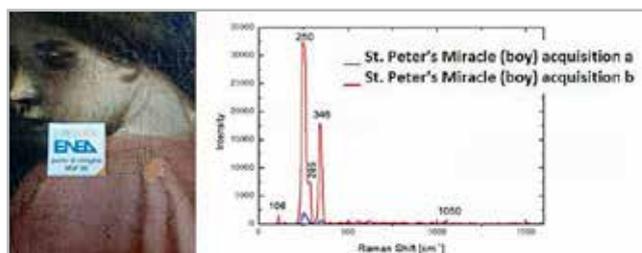


Figure 7.- On the left a detail of the “Emmaus Dinner” painting with label on the spot examined: orange arrow on the boy’s dress (b), yellow arrow on the boy’s face (a); on the right the respective Raman spectra collected after background subtraction, assigned as in Table 1.

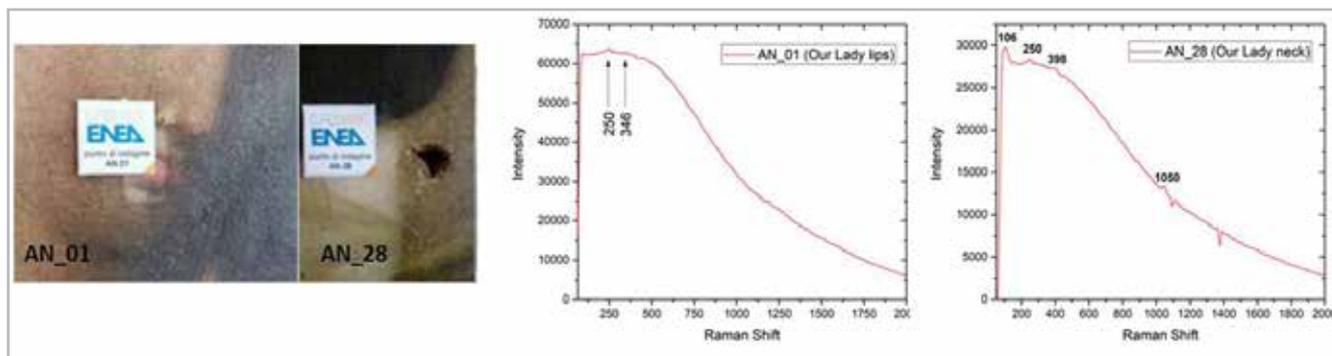


Figure 8.- Details of the “Annunciation” painting with labels on the red and pink spot examined in Our Lady image (lips and neck respectively); on the right the respective Raman spectra, assigned as in table 1, red ochre was found on the neck of Our Lady.

— Italian modern fresco from the XIXth century

Within an in situ diagnostic demonstrative campaign, carried out on Vincenzo Pasqualoni modern (middle XIXth century) fresco in San Nicola in Carcere (Rome), interest arose on the use of pigment and colors, due to the contemporary diffusion of chromium based synthetic materials in correspondence with the development of chemical industry. However, additional interest was remarked for provenance of peculiar pigments identified to obtain red, pink and orange colors (Romani *et al.* 2020). Raman spectroscopy could be used with the probe described in the experimental section since the fresco was under restoration and scaffolding were already installed, which could be climbed by the operator in order to place the probe in contact with the surface to be investigated.

Quite surprisingly we found a new red pigment of natural origin from South America in this spectra: phoenicochroite (PbCrO₄·PbO), used also in combination with ochres and calcite. The Raman spectra collected at different sample points are shown in Figure 9; the assignment of major structures detected is reported in Table 2. It is indeed

historically known about a working visit of the painter in Chile, where a phenicochroite mine is located (Tocopilla Province).

Also other red based colors were obtained starting from phenicochroite (e.g. orange and violet) in combination with other ingredients. For instance, the addition of yellow ochre (goethite) to phenicochroite was used to obtain orange color [Figure 10], while the golden yellow contained goethite with traces of orpiment (As₂S₃). Once again the used pigment could have an American origin, since important orpiment mines are located in Peru.

Conversely, spectrally resolved LIF imaging, remotely performed on the same area after the scaffolding removal, did not show any presence of carmine in the red painted area, ruling out the use of this historical “American” color from cochineal in the fresco (Romani *et al.* 2020). Apparently the use this color in painters’ palette did not spread from Spain to central Italy until the XIXth century, neither for oil painting nor for fresco, nevertheless the cochineal was already present at the Spezieria of Santa Maria della Scala in Rome for other uses.

Point	Raman Shift (cm-1)	Assignment
A	224, 290, 411 106, 144, 340, 380, 826	Fe2O3 (hematite) PbCrO4·PbO (phoenicochroite)
B	153, 280, 711, 1084 144, 342, 382, 828 225, 290, 407	CaCO3 (calcite) PbCrO4·PbO (phoenicochroite) Fe2O3 (hematite) - traces
C	153, 280, 711, 1085 225, 290, 407, 612 144, 342, 381, 828	CaCO3 (calcite) Fe2O3 (hematite) PbCrO4·PbO (phoenicochroite) - traces
D	106, 145, 342, 382, 825, 837 846, 1007	PbCrO4·PbO (phoenicochroite) CaSO4 (gypsum)
E	156, 280, 1084 233, 415, 497, 622, 1007, 1142 200, 350 300, 401	CaCO3 (calcite) CaSO4 (gypsum) As2S3 (orpiment) FeO·OH (goethite, yellow ochre)

Table 2.- Pigment identification in the red – yellow areas.

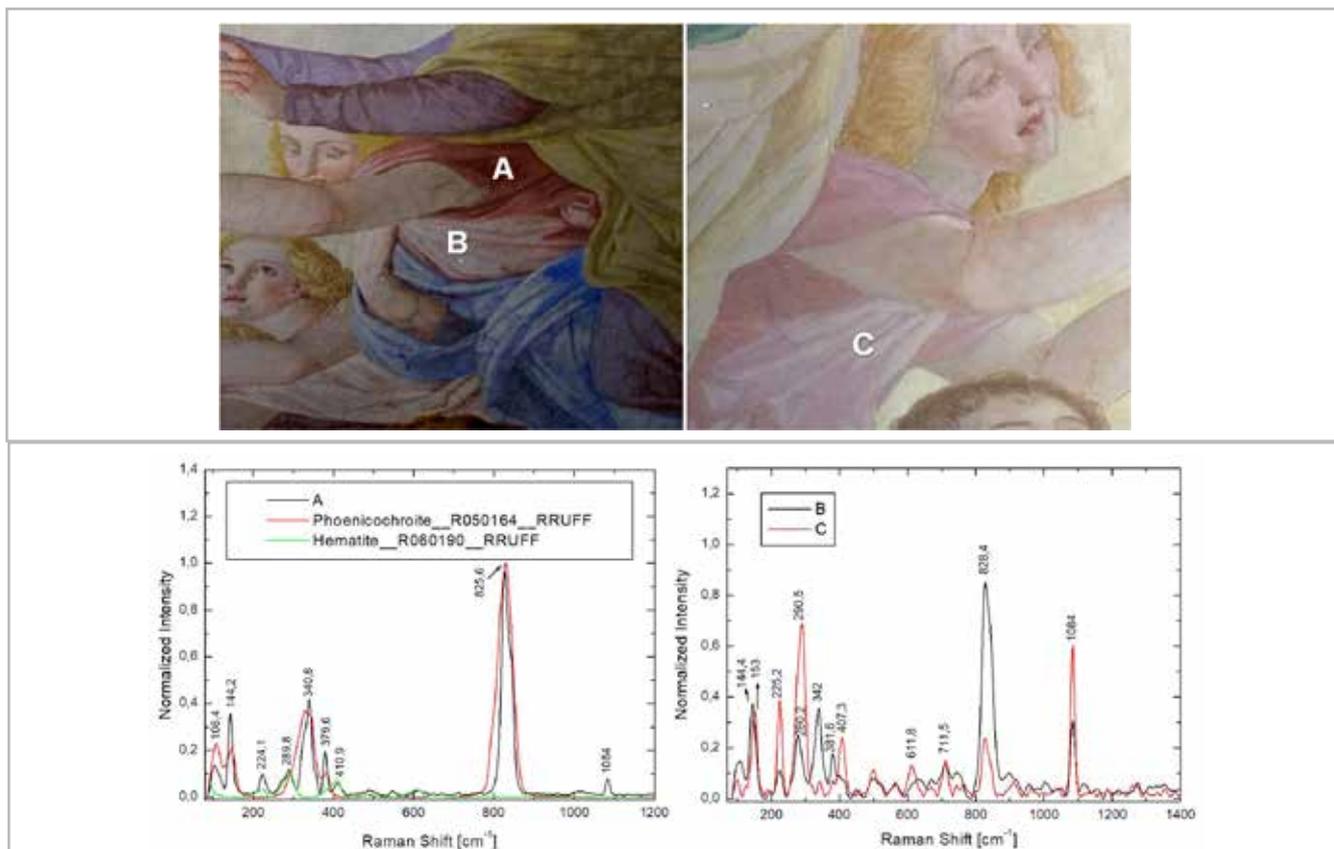


Figure 9.- Raman spectra of red (A) and pink (B and C) points sampled at respective letters. For the spectrum of the red pigment (A), reference spectra of two mineral pigments from the RRUFF database are also reported for comparison. Complete spectral assignment is reported in Table 2

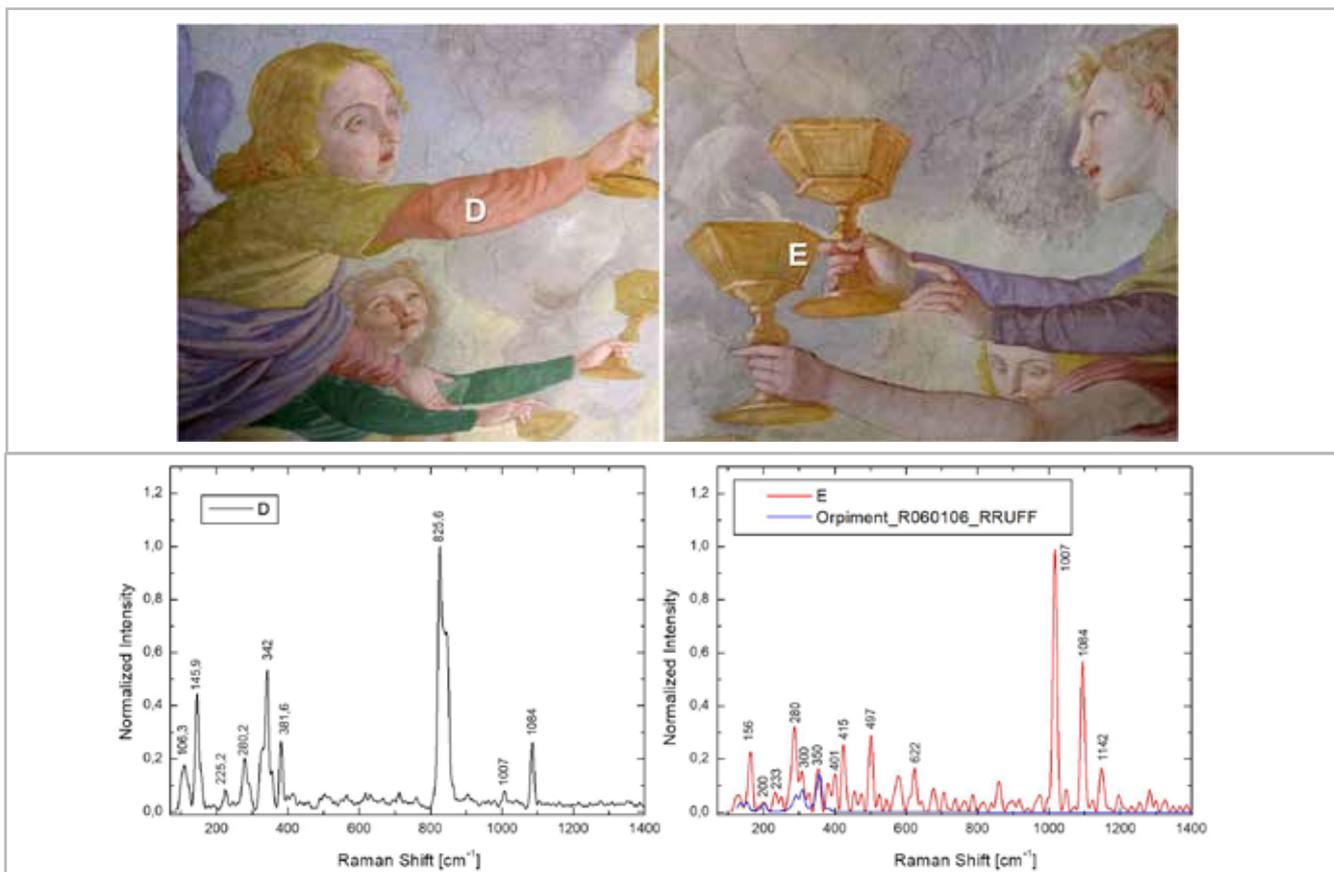


Figure 10.- Raman spectra of orange (point D) and golden yellow (point E). For the golden yellow pigment (E), reference spectra of one mineral pigment from the RRUFF database is also reported for comparison. Complete spectral assignment is reported in Table 2.

However, the beginning of a significant globalization in the XIXth century can be remarked from the use of peculiar South American pigments by the painter.

No dual use of phenicochroite has been reported, on the other hand the chromium presence makes it surely poisoning, as well as the arsenic presence in orpiment.

Conclusions

Innovative laser spectroscopic techniques have been used mostly in situ to characterizes painted CH surfaces. Information on red colors (red ochre, cinnabar, carmine and phoenicochroite) used from the antiquity to the XIXth century was gathered in different case studies, relevant to paintings realized on various substrates with different problems of accessibility. The techniques were applied in a fully non-destructive way, except LIBS which however resulted only micro destructive in the stratigraphy experiments.

By the adopted laser spectroscopies, it was possible to scientifically supported the utilization of the selected red substances with historical dual use in different types of painting. Information on their combination with other chemicals, either in mixtures of in overlapping layers (the latter revealed by LIBS stratigraphy) was achieved.

Provenance studies, based on trace elemental analysis coupled to historical documentation, improved our knowledge of ancient and modern travel routes, as well as the technology progress in painting on different substrates.

Acknowledgements

Most of the work was carried out with the support of two Latium regional projects COBRA and ADAMO, the latter funded within DTC Lazio. Cooperation with EuresArte s.r.l. involving ENEA in different case studies on the territory within the mentioned regional projects is gratefully acknowledged.

Authors thank Parco Regionale di Veio, Sovrintendenza Capitolina, Soprintendenza Speciale di Roma "Archeologia, Belle Arti e Paesaggio", Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico of Seville and Universidad Pablo De Olavide of Seville for their participation to the field campaigns whose results on red colors are here reported in detail.

References

*1st European Symposium on Drugs & Colors in History: from the past to the present Revisiting ancient Pharmacies, Spezierias & Workshops – 20-22 October 2021 València, Spain.

ALMAVIVA, S., FANTONI, R., COLAO, F., PUIU, A., BISCONTI, F., NICOLAI, V.F., ROMANI, M., CASCIOLI, S., BELLAGAMBA, S. (2018). "LIF/Raman/XRF non-

invasive microanalysis of frescoes from St. Alexander catacombs in Rome", *Spectrochim. Acta A*, 201: 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.04.062>

ANGLOS, D., BALAS, C. & FOTAKIS, C. (1999). "Laser spectroscopic and optical imaging techniques in chemical and structural diagnostics of painted artwork". *American Laboratory* 31: 60–67. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0002731719&partnerID=40&md5=679cb3d845f5062b21678ef29e873371>

BORGIA, I., FANTONI, R., FLAMINI, C., DI PALMA, T.M., GIARDINI-GUIDONI, A., MELE, A. (1998). "Luminescence from pigments and resins for oil paintings induced by laser excitation", *Appl. Surf. Sci.*, 127-129: 95-100. [https://doi.org/10.1016/S0169-4332\(97\)00616-8](https://doi.org/10.1016/S0169-4332(97)00616-8)

BOTTO, A., CAMPANELLA, B., LEGNAIOLI, S., LEZZERINI, M., LORENZETTI, G., PAGNOTTA, S., POGGIALINI, F. & PALLESCHI, V. (2019). "Applications of laser-induced breakdown spectroscopy in cultural heritage and archaeology: a critical review". *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 34(1): 81-103. <https://doi.org/10.1039/C8JA00319J>

BRUDER, R., DETALLE, V., COUPRY, C. (2007) "An example of the complementarity of laser-induced breakdown spectroscopy and Raman microscopy for wall painting pigments analysis", *Journal of Raman Spectroscopy*, 38: 909-915. <https://doi.org/10.1002/jrs.1685>

CECCARELLI, S., GUARNERI, M., ROMANI, M., GIACOPINI, L., FRANCUCCI, M., CIAFFI, M., FERRI DE COLLIBUS, M., PUIU, A., VERONA-RINATI, G., COLAO, F., FANTONI, R. (2021). "Are the blue daemons really blue? Multidisciplinary study for the colours characterization of the mural paintings inside the Blue Daemons Etruscan tomb", *Journal of Cultural Heritage*, 47: 257-264. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.09.002>

CHSOS Pigments Checker Database link: <https://chsopensource.org/carmine-lake-k-42100/>

COTTE, M., SUSINI J., METRICH, N., MOSCATO, A., GRATZIU, C., BERTAGNINI, A., PAGANO, M.. (2006). "Blackening of Pompeian cinnabar paintings: X-ray microspectroscopy analysis", *Analytical Chemistry*, 78: 7484-7492. <https://doi.org/10.1021/ac0612224>

DENNISON, P. E., HALLIGAN, K. Q., & ROBERTS, D. A. (2004). "A comparison of error metrics and constraints for multiple endmember spectral mixture analysis and spectral angle mapper". *Remote Sensing of Environment*, 93(3): 359-367. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.07.013>

R. FANTONI, L. CANEVE, F. COLAO, L. FIORANI, A. PALUCCI, R. DELL'ERBA, V. FASSINA (2013) "Laser-induced fluorescence study of medieval frescoes by Giusto de' Menabuoi", *Journal of Cultural Heritage*, 14: S59–S65. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.10.025>

FANTONI, R., ALMAVIVA, S., CANEVE, L., CAPONERO, M., COLAO, F., FERRI DE COLLIBUS, M., FIORANI, L., FORNETTI, G., FRANCUCCI, M., GUARNERI, M., LAZIC, V., PALUCCI, A., SPIZZICHINO, V. (2017). "Laser scanners for remote diagnostic and virtual fruition of cultural heritage", *Optical and Quantum Electronics*, 49, Article number 120. <https://doi.org/10.1007/s11082-017-0952-4>

GAONA, I., LUCENA, P., MOROS, J., FORTES, F.J., GUIRADO, S., SERRANO, J., LASERNA, J.J. (2013). "Evaluating the use of standoff LIBS in architectural

- heritage: surveying the Cathedral of Màlaga", *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 28: 810-820. <https://doi.org/10.1039/C3JA50069A>
- GÓMEZ-MORÓN, A., ORTIZ, R., COLAO, F., FANTONI, R., BECERRA, J., ORTIZ, P. (2020). "Laser-Induced Fluorescence mapping of pigments in a secco painted murals". *Ge-conservación*, 17: 233-250. <https://doi.org/10.37558/gec.v17i1.759>
- LAZIC V., TRUJILLO-VAZQUEZ A., SOBRAL H., MÁRQUEZ C., PALUCCI A., CIAFFI M., PISTILLI M. (2016). "Corrections for variable plasma parameters in laser induced breakdown spectroscopy: application on archeological samples", *Spectrochim. Acta Part B*, 122: 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2016.06.003>
- LAZIC,V.,VADRUCCI,M.,FANTONI,R.,CHIARI,M.,MAZZINGHI,A.,GORGHINIAN,A. (2018). "Applications of laser induced breakdown spectroscopy for cultural heritage: A comparison with XRF and PIXE techniques", *Spectrochim. Acta B*, 149: 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2018.07.012>
- LAZIC V., FANTONI R., FALZONE S., GIOIA C., LORETI E.M. (2020). "Stratigraphic characterization of ancient Roman frescos by laser induced breakdown spectroscopy and importance of a proper choice of the normalizing lines", *Spectrochim. Acta B*, 168: 105853. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2020.105853>
- MAGDY, M. (2021) "Analytical Techniques for the Preservation of Cultural Heritage: Frontiers in Knowledge and Application". *Crit. Rev. Anal. Chem.* 3: 1-26. <https://doi.org/10.1080/10408347.2020.1864717>
- MARINELLI, M., PASQUALUCCI, A., ROMANI, M. & VERONA-RINATI, G. (2017). "Time resolved laser induced fluorescence for characterization of binders in contemporary artworks". *J. Cultural Heritage*, 23: 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.09.005>.
- MILIANI, C., ROSI, F., BRUNETTI, B. G. & SGAMELLOTTI, A. (2010) "In situ noninvasive study of artworks: The MOLAB multitechnique approach". *Acc. Chem. Res.* 43: 728–738. <https://doi.org/10.1021/ar100010t>
- NEVIN, A., SPOTO, G., ANGLOS, D. (2012) "Laser spectroscopies for elemental and molecular analysis in art and archaeology". *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.* 106, 339–361. <https://doi.org/10.1007/s00339-011-6699-z>
- NEVIN, A., CESARATTO, A., BELLEI, S., D'ANDREA, C., TONIOLO, L., VALENTINI, G., COMELLI, D. (2014). "Time-resolved photoluminescence spectroscopy and imaging: new approaches to the analysis of cultural heritage and its degradation", *Sensors*, 14 (4): 6338-6355. <https://doi.org/10.3390/s140406338>
- NIST database link: <https://www.nist.gov/pml/atomic-spectra-database>
- NÖLLER, R. (2014). "Cinnabar reviewed: characterization of the red pigment and its reaction", *Studies in Conservation*, 60(2): 79-87. <https://doi.org/10.1179/2047058413Y0000000089>
- ORTIZ, R., ORTIZ, P., COLAO, F., FANTONI, R., GÓMEZ-MORÓN, M.A., VÁZQUEZ, M.A. (2015) "Laser spectroscopy and imaging applications for the study of cultural heritage murals" *Construction and Building Materials*, 98: 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.067>
- PARDINI, L., EL HASSAN, A., FERRETTI, M., FORESTA, A., LEGNAIOLI, S., LORENZETTI, G., NEBBIA, E., CATALLI, F., HARITH, M.A., DIAZ PACE, D., ANABITARTE GARCIA, F., SCUOTTO, M., PALLESCI V. (2012) "X-Ray Fluorescence and Laser-Induced Breakdown Spectroscopy analysis of Roman silver denarii" *Spectrochim. Acta Part B*, 156-161. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2012.06.016>
- PLINIO, Caio Seniore. *Naturalis Historia*, lib. XXXIII, 133 and passim.
- ROMANI, A., CLEMENTI, C., MILIANI, C., FAVARO, G. (2010). "Fluorescence spectroscopy: a powerful technique for the noninvasive characterization of artwork", *Accounts of chemical research*, 43(6): 837-846. <https://doi.org/10.1021/ar900291y>
- ROMANI, M., CAPOBIANCO, G., PRONTI, L., COLAO, F., SECCARONI, C., PUIU, A., FELICI, A.C., VERONA-RINATI, G., CESTELLI-GUIDI, M., TOGNACCI, A., VENDITTELLI, M., MANGANO, M., ACCONCI, A., BONIFAZI, G., SERRANTI, S., MARINELLI, M., FANTONI, R. (2020). "Analytical chemistry approach in cultural heritage: the case of Vincenzo Pasqualoni's wall paintings in S. Nicola in Carcere (Rome)", *Microchemical Journal*, 156: 104920. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.104920>
- RRUFF Database link: <https://rruff.info>
- SBROSCIA, M., CESTELLI-GUIDI, M., COLAO, F., FALZONE, S., GIOIA, C., GIOIA, P., MARCONI, C., MIRABILE GATTIA, D., LORETI, EM., MARINELLI, M., MISSORI, M., PERSIA, F., PRONTI, L., ROMANI, M., SODO, A., VERONA-RINATI, G., RICCI, M.A., FANTONI, R. (2020). "Multi-analytical non-destructive investigation of pictorial apparatuses of "Villa della Piscina" in Rome", *Microchemical Journal*, 153: 104450. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104450>
- SODO, A., ARTIOLI, D., BOTTI A., DE PALMA G., GIOVAGNOLI A., MARIOTTINI M., PARADISI A., POLIDORO C., RICCI M.A. (2010). "The colours of etruscan paintings: a study on the tomba dell'orco in the necropolis of tarquinia", *J. Raman Spectr.*, 39(8): 1035–1041. <https://doi.org/10.1002/jrs.1982>
- SPIZZICHINO, V., & FANTONI, R. (2014). "Laser induced breakdown spectroscopy in archeometry: a review of its application and future perspectives". *Spectrochimica Acta Part B*, 99, 201-209. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2014.07.003>
- VADRUCCI, M., MAZZINGHI, A., SORRENTINO, B., FALZONE, S., GIOIA, C., GIOIA, P., LORETI, E.M., CHIARI, M. (2020). "Characterisation of ancient Roman wall painting fragments using non-destructive PIXE and XRF techniques", *X-Ray Spectrometry*, 49(6): 668-678. <https://doi.org/10.1002/xrs.3178>
- VANDENABEELE P., DONAIS, M.K. (2016) "Mobile Spectroscopic Instrumentation in Archaeometry Research", *Appl. Spectrosc.* 70: 27–41. <https://doi.org/10.1177/0003702815611063>
- VILLAR, S.E.J., EDWARDS, H.G.M. (2005). "An extensive colour palette in roman villas in burgos, northern spain: a Raman spectroscopic analysis, *Anal. Bioanal. Chem.*, 382: 283–289. <https://doi.org/10.1007/s00216-004-2876-7>.

Author/es



Roberta Fantoni
roberta.fantoni@enea.it
 Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA), Frascati, Italy

Degree in Chemistry, senior scientist at ENEA. From the beginning of her career she was involved in multidisciplinary research activities and projects implying knowledge relevant to both chemistry and physics (spectroscopy and material processing). Successively, within the field of radiation-matter interactions, she carried out researches on processes with a broader applicative range, from biology and medicine to cultural heritage, coordinating projects at national and European level. Currently head of Technology Application for Security and Health Division at ENEA (since July 2015). ENEA member in E-RIHS.it and in the Centre of Excellence of the District of Technologies for Culture of Latium Region. Author of 183 peer review scientific papers in the field of spectroscopy and laser applications.



Violeta Lazic
violeta.lazic@enea.it
 Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA), Frascati, Italy

Graduated in Physics (1990, Belgrade, Serbia), PhD at Faculty of Engineering (Tor Vergata, Rome, Italy). Scientific expertise in different laser spectroscopic techniques, particularly in LIBS; expertise in projecting of solid-state lasers and laser systems for industrial and scientific applications; software development for data analysis. Author of numerous scientific papers (citations >2800, h-index 28), six book chapters and four patents. Teaching experience at University of Tor Vergata and on different Master courses. Member of editorial board of Journal of Spectroscopy, and of Sensors.



Francesco Colao
francesco.colao@enea.it
 Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA), Frascati, Italy

Senior Scientist at ENEA, specialist in laser applications, signal processing and data acquisition, current interests concern the development of fluorescence lidar for the analysis of pigments, binders and consolidants. Since 1987 he is researcher at ENEA, carrying out research in design and development of remote sensing laser-based systems for atmospheric studies. Known expert in the field of laser spectroscopy and diagnostics, including lidar, Raman spectroscopy, visible/UV emission spectroscopy, Laser Induced Fluorescence (LIF). He gained large experience of remote sensing systems for different applications: environmental control

of pollutants, and remote diagnostic in the field of cultural heritage. He has been responsible of several national and international research projects. The results of his researches have been presented at international conferences and published in peer review journals



Salvatore Almaviva
salvatore.almaviva@enea.it
 Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA), Frascati, Italy

Physicist and researcher at ENEA in laser applications, signal processing and data acquisition, current interests concern the development and application of Raman and Laser-Induced-Breakdown-Spectroscopy (LIBS) in different applications. He has carried out research in design, development and testing of laser-based systems for security, cultural heritage and nuclear fusion applications. His expertise is in the field of laser spectroscopy and diagnostics and includes Raman spectroscopy and LIBS. He has been involved in several national and international research projects. The results of his researches have been presented at international conferences and published in peer review journals.



Adriana Puiu
adriana.puiu@enea.it
 Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA), Frascati, Italy

Physicist, PhD in Quantum Electronics and Plasma Physics at "Tor Vergata" University of Rome, Researcher at ENEA - Diagnostic and Metrology Laboratory, she is involved in projects applied to safety issues (homeland security and food safety) as well as diagnostics for Cultural Heritage. She has expertise in optics and photonics and she is currently involved in activities regarding development and application of laser prototypal systems for Raman and infrared spectroscopy, photoacoustic spectroscopy, fluorescence spectroscopy and multivariate statistical analysis for data treatment to be employed in different research fields. The results of her researches have been presented at international conferences and published in peer review journals.

Artículo enviado el 19/05/2022
 Artículo aceptado el 12/06/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1117>

Propuesta metodológica para el análisis estilístico y técnico de imágenes de vestir de bulto redondo. Aplicación a una imagen del Siglo XVII

David Triguero Berjano

Resumen: Este trabajo tiene como objetivo desarrollar una propuesta metodológica para estudiar los aspectos ocultos e infravalorados de las imágenes de vestir: las estructuras internas y los sistemas de construcción, ensamblajes y articulaciones, y la puesta en valor de estos estudios como modelo de análisis estilístico y técnico que permitan profundizar en el conocimiento de la autoría, avatares e intervenciones de las imágenes. Además, se persigue establecer una serie de recomendaciones para la conservación-restauración de estas imágenes de vestir. Para ello, un aspecto fundamental ha sido esclarecer el concepto de "imagen de vestir" y el reconocimiento de sus diferentes tipologías, paso previo indispensable para lograr una puesta en valor efectiva. La metodología se ha aplicado a una imagen del siglo XVII de Sto. Domingo de Guzmán, lo que ha permitido atribuirlo a Juan de Mesa y Velasco (1583-1627), famoso escultor imaginero de la escuela sevillana del siglo XVII.

Palabras clave: imágenes de vestir, vestideras, Juan de Mesa, escuela sevillana, barroco

Methodological proposal for the stylistic and technical analysis of images of round-shaped clothing. Application to a 17th century image

Abstract: This article aims to develop a methodological proposal to study the hidden and undervalued aspects of vested polychromed freestanding sculpture: internal structures and construction systems, assemblies and joints, and the enhancement of these studies as a model of stylistic and technical analysis that allow deepening the knowledge of the authorship, avatars and interventions of the images. In addition, the aim is to establish a series of recommendations for the conservation-restoration of mannequin vested sculpture. To do this, a fundamental aspect has been to clarify the concept of "clothing image" and the recognition of its different typologies, an essential previous step to achieve an effective enhancement. The methodology has been applied to a 17th century image of Sto. Domingo de Guzmán, which has allowed it to be attributed to Juan de Mesa y Velasco (1583-1627), a famous image sculptor of the Sevillian school of the 17th century.

Keywords: vested statues, mannequin, Juan de Mesa, Sevillian school, baroque

Introducción

Las imágenes de vestir constituyen una de las líneas genealógicas que se han desarrollado con más profusión dentro de la imaginería, no obstante, la investigación de la bibliografía existente pone de manifiesto que han sido escasamente estudiadas o, que la mayoría de estos estudios son investigaciones parciales. Sirva de ejemplo el informe sobre el estado de conservación de la imagen de la Esperanza Macarena de Sevilla, realizado por el jefe del Departamento de Escultura del Instituto del Patrimonio Cultural de España, D. Joaquín Cruz Solís realizado en 1973, titulado "Informe sobre el estado de conservación y de la restauración aconsejable de la cabeza y manos de

la imagen de María Santísima de la Esperanza Macarena [...]" (ICROA 1973). Como se aprecia en el título, en este informe se obvia tanto el diagnóstico como la propuesta de intervención de las partes ocultas de la imagen (cuerpo, candelero y brazos). Otro ejemplo lo encontramos en la publicación *Las vírgenes de la Semana Santa de Sevilla* del catedrático Jesús Palomero, en la que trata los aspectos históricos y estéticos de las imágenes, obviándose de nuevo las partes ocultas (Palomero 1983).

A la hora de definir la imagen de vestir siempre se habla de una escultura formada por cabeza, tronco, brazos, manos y armadura -o parte inferior del cuerpo-, dándose todo el protagonismo a lo morfológico, estilístico y técnico de

las partes nobles: la cabeza y las manos. En este sentido, se han menospreciado el resto de los elementos que la componen y que quedan ocultos tras las vestiduras. No obstante, estos elementos estructurales constituyen un valioso testimonio de la sociedad y la cultura de la época, e incluso pueden aportar información sobre aspectos tan importantes como la procedencia geográfica y la autoría de la obra. Por estos motivos, en este trabajo se pretende establecer un modelo metodológico a seguir para el análisis y estudio de las imágenes vestideras.

Además, la imaginería de vestir es el producto de un largo proceso evolutivo, por lo que en su estudio se hace necesario tener en cuenta factores como la ideología, las técnicas existentes, la iconografía y el estilo propios de cada época. Esta evolución ha tenido un carácter constante y aún hoy en día se siguen dando cambios. El hecho de que muchas de estas imágenes sigan desempeñando un uso litúrgico importante, hace que los cambios se den incluso en nuestros días sin valorar las estructuras originales, por eso es perentorio una metodología que permita el estudio y conservar las estructuras evitando procesos de modificación innecesarios y pérdida de estas.

En resumen, la falta de valoración generalizada de estas estructuras hace que la mayoría de las imágenes de vestir que conservamos hayan sido objeto de numerosas

intervenciones, que han modificado y transformado su aspecto físico, tanto su morfología como su fisiología. Muchas de las imágenes han sido retalladas y repolicromadas, al mismo tiempo que se modificaban sus cuerpos, brazos y otras estructuras. Por ello, esta investigación pretende poner de manifiesto la necesidad del estudio de los elementos ocultos de las imágenes de vestir, ya que son una parte fundamental de la obra y por tanto también deben conservarse.

Metodología

La metodología aplicada de tipo inductiva se ha aplicado a más de un centenar de casos para su validación, realizándose varios artículos para diversos congresos y publicaciones (Triguero 2019a, 2019b). El método desarrollado se basa en el estudio, la observación y el análisis comparativo de imágenes de vestir. Establecer unas pautas para el estudio y la comparación de estos es por tanto fundamental. Para ello, se ha diseñado una metodología interdisciplinar que abarca diferentes ámbitos, que van desde la Historia del Arte, las Bellas Artes y sus procesos técnicos, y la Conservación–Restauración. A este respecto, cada disciplina científica aporta una perspectiva diferenciada de la que se extraen valiosas informaciones que servirán para respaldar o refutar la hipótesis de trabajo [Figura 1].

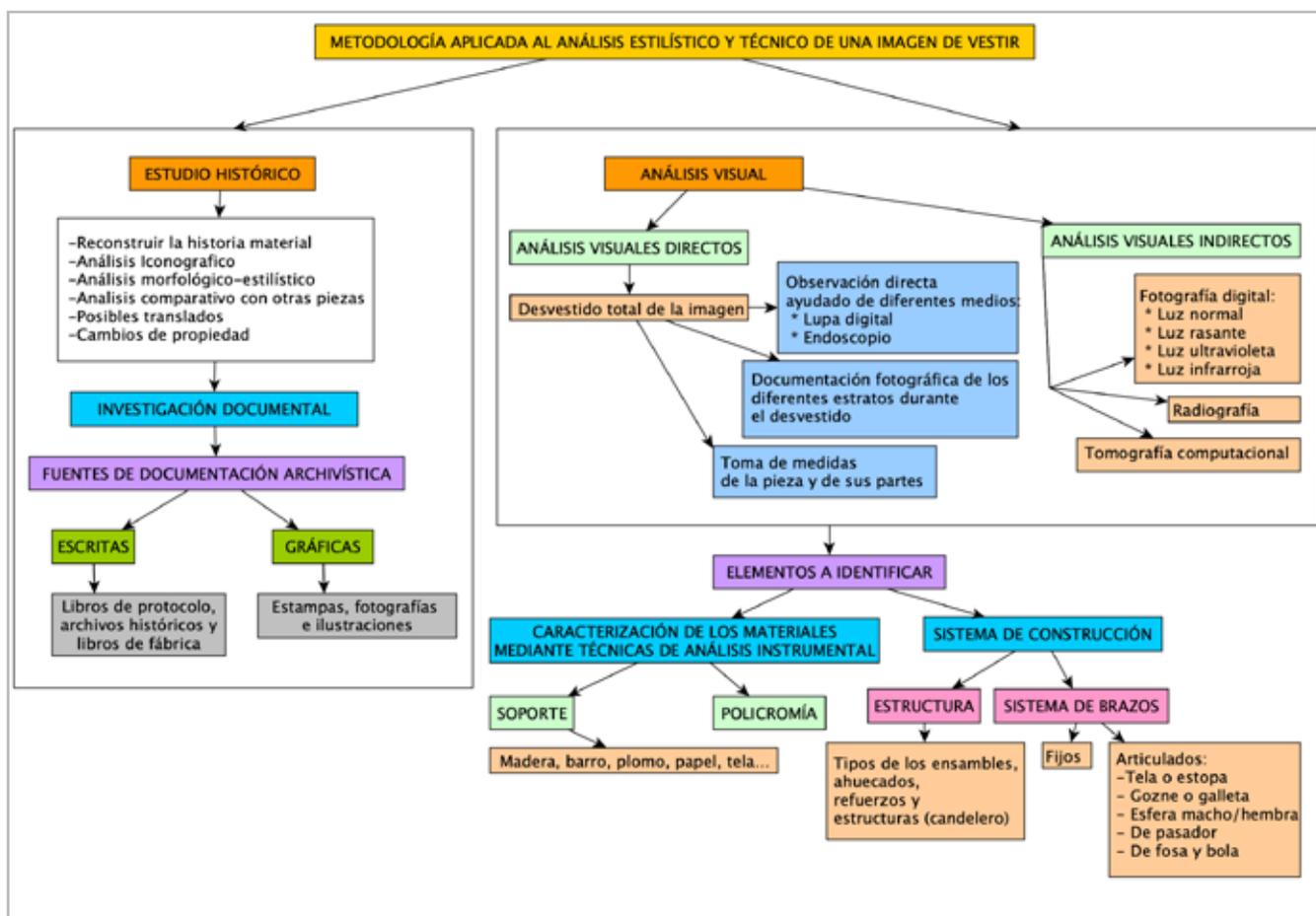


Figure 1.- Esquema de la metodología aplicada al análisis estilístico y técnico de una imagen de vestir

Reconocemos dos fases en nuestra metodología: en primer lugar, se hace necesario realizar un estudio histórico a partir del análisis de toda la documentación existente, bien sea escrita o gráfica. Esto servirá para situar la imagen en el contexto artístico en el que fue creada, así como, si existieran documentos, conocer las intervenciones que pudiera haber tenido a lo largo de su historia material. En el segundo paso, es indispensable la investigación de campo, es decir, poder estudiar obras de primera mano, con la ayuda de diferentes herramientas como la lupa digital o el endoscopio [Figura 2], y si fuera posible poder realizar métodos de análisis científico (radiografías, TAC, análisis de materiales, etc). Sin embargo, esta es la parte más compleja de la metodología para este tipo de imágenes, pues, en el ámbito cultural en el que se inscriben este tipo de bienes culturales, existe una significativa y bien conocida reticencia a su libre acceso. Es frecuente encontrar impedimentos por parte de los propietarios o custodios de estas imágenes de culto para que puedan verse despojadas de sus vestiduras y más aún que puedan ser fotografiadas y poder publicar los resultados obtenidos. A veces, tan solo el profesional de la conservación-restauración tiene el privilegio de poder acceder a los elementos más ocultos de estas imágenes. Por lo que la intervención de este tipo de obras de arte es el momento metodológico ideal para poder estudiarlas con detenimiento (Amador 1995: 249). Por eso, los casos

de estudio más valiosos son aquellos sobre los que se ha practicado un diagnóstico o tratamiento de restauración-conservación, pues es posible extraer conclusiones más fiables.

Las tipologías de la imagen de vestir de la escuela sevillana

Uno de los objetivos prioritarios en las investigaciones que involucran a imágenes de vestir es el de definir correctamente la tipología de la obra. Para ello, se emplea una exhaustiva clasificación taxonómica que se ha diseñado atendiendo a los diversos elementos estructurales que conforman la realidad material de todas aquellas imágenes que hoy día pasan por "imágenes de vestir" [Figura 3].

Dentro de las genealogías que se insertan como imágenes de vestir se encuentra, en primer lugar, la distinción entre las imágenes que son creadas para ser vestidas y aquellas que, por circunstancias se transforman en vestideras. Dentro de las imágenes realizadas expresamente para ser vestidas, se diferencian tres tipologías: 1) imágenes de vestir de "maniquí", las cuales tienen talladas y en algunos casos articuladas todas sus extremidades, 2) "imágenes de vestir de candelero", tipología originaria de España, que



Figure 2.- Interior de la escultura de Sto. Domingo de Guzmán de Bormujos, en la que podemos observar el sistema de ensablaje y ahuecado gracias a la captura de imágenes a través de un endoscopio: ©David Triguero Berjano.

aparece en el siglo XVI y es el resultado de la evolución y transformación de las imágenes de bulto redondo para ser vestidas (Infante 1971), y 3) tipología de bulto redondo policromada expresamente realizada para ser vestida (Triguero 2014).

Muchas fueron las causas que desencadenaron el cambio de gusto en lo referente a la consideración de las imágenes, tanto en las de bulto redondo que habían sido desmochadas para ser vestidas como en las de candelero, que empezaron a verse como poco decorosas o inapropiadas. Así, apareció una ortodoxia estética que promovió la realización de obras escultóricas que, aunque eran destinadas a ser vestidas, debían ser de bulto redondo policromada y terminada en todas sus partes. Por tanto, los factores históricos que desencadenaron la aparición de esta nueva tipología formal y estética fueron cruciales y, por tanto, deben ser tenidos en consideración. No en vano, un aspecto que pudo contribuir al cambio de gusto fue la importancia del pensamiento trentino o contrarreformista. En la España de principios del siglo XVII, especialmente en lo que respecta a las constituciones sinodales, se llevaba ya años tratando de regular el aspecto formal que las imágenes de vestir debían tener, intentando que no se expusiera al culto ninguna figuración que resultase indecorosa.

Además, hay que considerar la importancia que la estructura gremial imponía a las concepciones estéticas que los artistas-imagineros podían llevar a cabo. Por aquel entonces, era habitual la colaboración entre pintores y escultores, especialmente en la realización de las policromías de las imágenes, como era establecido en las ordenanzas gremiales (Gañan 1999). Así, grandes nombres de la pintura trabajaron junto a los más importantes maestros de la escultura, como es el caso del pintor

Francisco Pacheco (1564-1644), quien policromó gran parte de las obras de Juan Martínez Montañés.

A este respecto, la figura de Pacheco resultó de gran relevancia, pues se convirtió en uno de los teóricos más importantes de Sevilla, que ya por aquel entonces era uno de los centros intelectuales y religiosos de mayor envergadura en España. En su oficio como maestro pintor, llegó a ocupar el cargo de inquisidor encargado de examinar las nuevas imágenes religiosas que se realizaban, hecho que tuvo una gran importancia e influencia en los escultores imagineros de la época. Influenciado por tratadistas como el jesuita Diego Meléndez, el cardenal Gabriel Paleotti y Juan Molano, defendió los objetivos estrictos que debía cumplir el arte religioso, ideas promulgadas en sínodos y concilios de finales del XVI y principios del XVII, como los celebrados en Salamanca en 1565, en Cartagena en 1583, en Toledo en 1566, en Orihuela en 1600 o en Sevilla en 1603 (Rodríguez 1984: 153-159). Así, defendía el fiel objetivo y valor didáctico-moral de las obras de arte, el artista debía cuidar la verdad y el decoro, ajustándose a los dogmas y al modo en que debían representarse las imágenes. A este respecto, es en el asunto del decoro en las Artes donde la Iglesia ejercerá una mayor censura. En definitiva, lo que se pretendía era no degradar la idea de lo divino con imágenes que pudieran resultar escandalosas (Pacheco 2001). Las ideas de Pacheco adquirieron tal relevancia que llegó a determinar hasta el estilo de vida de los artistas, que debían llevar una vida honesta con una formación culta y catequética.

Para contextualizar esta influencia, se puede nombrar algunas de las indicaciones que eran recomendadas en el caso de la representación iconográfica de la virgen. Por ejemplo, se prohibieron los adornos, aderezos y vestidos contemporáneos (Rodríguez 1984: 153). No obstante, a pesar de la vigilancia de los visitantes y obispos, muchas imágenes fueron mutiladas, así como, por otra parte, se siguieron realizando imágenes de candelero, incluso avanzando en su desarrollo técnico y morfológico (Triguero 2017a).

Caso de estudio. Aplicación de la metodología a una imagen del Siglo XVII

La metodología se ha aplicado a una imagen del siglo XVII de Sto. Domingo de Guzmán [Figura 4], perteneciente a la Comunidad de Hermanas Dominicas del Monasterio de Santa María la Real de Bormujos (Sevilla).

El convento de Santa María la Real de Bormujos es un convento receptor, en su seno acoge a tres cenobios que, por circunstancias adversas, desaparecieron. Esta costumbre es muy habitual en la historia de los conventos, de tal manera que, aunque dejara de usarse un edificio conventual, la comunidad religiosa no desaparecía gracias a estas fusiones. Las casas profesas intentaban recopilar todo el patrimonio artístico posible llevándolo con ellas



Figure 3.- Esquema de las tipologías de imágenes de vestir.

a los nuevos conventos. No obstante, el convento de Dominicas de Santa María la Real no ha tenido siempre esta ubicación. Desde su fundación hacia 1409 hasta 1975, el convento se encontraba en la calle de San Vicente de Sevilla, trasladándose a Bormujos en 1976.



Figure 4.- José María González-Nandín y Paul. Santo Domingo de Guzmán. Iglesia de Santa María la Real de Sevilla, 23-8-1924. SGI Fototeca- Laboratorio de Arte Universidad de Sevilla.

En la Fototeca de la Universidad de Sevilla existe constancia de la imagen de Santo Domingo de Guzmán en el antiguo convento de Santa María la Real de Sevilla, en un reportaje realizado por el fotógrafo José María González-Nandín y Paul en 1924 [Figura 4]. La imagen se encontraba en un primer retablo del lado del Evangelio de la iglesia del convento. Posteriormente, en 1976 es trasladada al nuevo convento en Bormujos, situándose en la clausura y por tanto no accesible al público.

Al monasterio de Santa María la Real se han adherido otros conventos, conservando el testimonio y la fuente documental de los propios archivos del primitivo convento de Santa María la Real y de los tres conventos fusionados: el convento de Santa María de Gracia (Sevilla), el Convento de Santa María de los Reyes (Sevilla) y el convento de Santa Catalina Virgen y Mártir de Osuna (Sevilla).

A pesar de sus traslados, la congregación conserva un rico y variado patrimonio histórico artístico, conservando

piezas de autores importantes de la escuela barroca sevillana. Cabe destacar para esta investigación la imagen de San Juan Bautista, que también se ha estudiado (Triguero 2021b: 4), en madera policromada y de similares proporciones a las del Santo Domingo, su atribución a Mesa es aceptada con unanimidad por la crítica reciente. El profesor Hernández Díaz fue el primero en citar a Mesa como autor del Bautista con motivo de la Exposición Iberoamericana celebrada en 1929 en Sevilla (Hernández 1983: 82; González 2000: 132; Pareja 2006: 346).

La imagen vestida con ricas ropas barrocas y ornamentos se encuentra perfectamente representada como Santo Domingo de Guzmán, según su iconografía. Aparece vestido con alba o túnica y escapulario de color blanco, una capilla o esclavina de color negro con forro blanco, cinturón de cuero y capa negra. De igual forma, lleva los atributos del santo, diadema de plata, estrella en la frente, el rosario entre las manos, estandarte de plata con el escudo de la Orden de Predicadores y en la mano izquierda el libro y los lirios de plata; a sus pies el perro con la antorcha en la boca y la bola del mundo [figura 5]. Las medidas reales de la escultura son de 140 cm de altura, 60 cm de ancho y 38 cm de profundo.



Figure 5.- Sto. Domingo de Guzmán con sus vestiduras y ornamentos. Monasterio de Santa María la Real de Bormujos (Sevilla). Autor imagen: David Triguero Berjano.

Imágenes vestideras de bulto redondo en la obra de Juan de Mesa

Antes de nada, se hace necesario contextualizar la problemática que presenta el conjunto de la obra del artista cordobés. La producción artística de Mesa ha pasado durante largo tiempo inadvertida, debido a diversas circunstancias entre las que destaca su prematura muerte. Uno de los problemas más habituales que han sufrido sus creaciones ha sido el de su errónea atribución a su maestro Montañés. Es por ello por lo que se puede considerar que existe un auténtico vacío en la historiografía del arte hasta el último tercio del siglo XX, cuando su obra y su figura es puesta en valor y difundida.

La mayoría de los estudios existentes de la obra del autor versan sobre sus imágenes de Cristos sufrientes, no siendo abundantes los que tratan las figuras de santos. Motivo por el que, hoy en día, se sigue especulando y atribuyendo obras que han permanecido olvidadas en el anonimato, como es el caso que nos ocupa.

Con el objetivo de poder afirmar la atribución de esta escultura a Juan de Mesa y como parte de la metodología inductiva empleada, es de vital importancia poder contrastar los datos con obras documentadas y atribuidas del autor. A este respecto, una de las imágenes que se ha podido analizar de manera más profunda es la imagen de la Virgen

de las Angustias perteneciente al conjunto escultórico de la Piedad de las Angustias de Córdoba. Se trata de una obra documentada al escultor Juan de Mesa y Velasco. En 1626, la hermandad cordobesa de las Angustias encargó la hechura de sus imágenes titulares al escultor cordobés, a través del provincial de los agustinos, Fray Pedro Suárez de Góngora. Se trata de la obra póstuma del brillante escultor, ya que fallecería el 26 de noviembre de 1627, y que tendría ya terminada como así atestigua su testamento: "[...] *Estoy obligado a hacer una Virgen de la Soledad o Angustias para el convento de San Agustín de Córdoba, a la cual no le faltan tres días de trabajo y está hecho el concierto o tasación y recibido quinientos reales a cuenta*" (Aranda 2003: 222).

La imagen de la dolorosa de Nuestra Señora de las Angustias [figura 6] fue realizada para ser vestida como consta en los gastos de la ropa que aparecen en los libros de cuentas de la hermandad en 1628. Esta imagen mariana es una escultura exenta tallada y policromada en su totalidad. Su indumentaria, aunque esquemática, es representativa de la época, formada por camisa de color blanco, jubón de cuello cerrado y rematado con almenas en la parte inferior, enaguas o faldas y zapatos de color negro. Se encuentra sentada sobre una roca con las piernas flexionadas (la izquierda más alta que la derecha), muestra la cabeza girada levemente a su izquierda e inclinada hacia abajo con la mirada perdida en el pecho de su hijo. Los brazos y las manos son elementos independientes y articulados en los hombros, codos y muñecas.



Figure 6.- Conjunto escultórico de la Virgen de las Angustias (Vestida y desvestida), Juan de Mesa, 1627. Iglesia de San Agustín. Córdoba. Fotos inéditas década años 40 s. XX. Propiedad: Gabriel Ferrera.



Figure 5.- (Arriba) Infografía de la morfología de la Virgen de la Encarnación (Sevilla). Atribuida a Juan de Mesa hacia 1617. Autor imagen: David Triguero Berjano. (Abajo) Imagen TAC en la que se aprecia la composición estratégica del ensamblaje y el ahuecado interior de la imagen. Autor imagen: ©David Triguero Berjano.

Otra imagen con las mismas características de esta tipología que se ha podido analizar y estudiar profundamente, es la imagen de la Virgen de la Encarnación, titular de la Sagrada Hermandad de la Cena de Sevilla [Figura 7]. La imagen ha sido atribuida a Juan de Mesa (Carrasco 2006: 19; Gómez 2000: 420), realizada hacia 1617, época de mayor actividad del escultor cordobés (Delgado 2006: 689-692; Hernández 1983: 76-77). Se trata de una escultura de tamaño natural, realizada en madera policromada y cuya morfología se ha tallado por completo. Todo el volumen se encuentra estratégicamente bien construido, ensamblado y ahuecado, al igual que en la imagen de la Virgen de las Angustias, de acuerdo con los datos obtenidos mediante el estudio de tomografía axial computarizada (TAC) (Triguero 2017b).

Estas características estilísticas, morfológicas y técnicas también están presentes en las imágenes de vestir de bulto redondo policromadas de los santos jesuitas del Museo de Bellas Artes de Sevilla, que según un estudio de la historiadora María Elena Gómez Moreno (Hernández 1983: 79) son atribuidas a Juan Martínez Montañés, aunque posteriormente las atribuye al taller de Mesa, a excepción de la de San Diego de Kisai que considera del maestro Montañés. Posteriormente, Hernández Díaz las atribuye a Juan de Mesa y las fecha en 1627 -año que coincide con la fecha en la que se beatificaron dichos santos (Hernández 1983: 79). En la actualidad, la crítica especializada acepta esta última atribución, a excepción de la imagen de San Diego de Kisai que se mantiene el interrogante sobre su autoría [Figura 8].



Figure 8.- (José María González Nandín y Paúl. San Diego de Kisai, San Juan de Goto y *San Pablo Miki*. Museo de Bellas Artes de Sevilla, 1938. SGI Fototeca- Laboratorio de Arte, Universidad de Sevilla

El profesor Hernández Díaz (1983) las define como “maniqués de madera policromados, pensados para vestir y por tanto sólo tienen tallados cabezas, manos, piernas y pies”, siendo consideradas según nuestra investigación como imágenes de vestir de bulto redondo policromadas. Dichas esculturas articuladas presentan la típica vestimenta jesuita de la época, con camisa sotana y calzas, para ser revestidos con las ropas litúrgicas (Pareja 2006: 352-356). La cabeza, brazos y manos se pueden desmontar del cuerpo que se encuentran fijados mediante diferentes pasadores de madera.

Hasta hace pocos años dichas imágenes se encontraban inaccesibles en los almacenes del Museo de Bellas Artes de Sevilla, siendo un claro ejemplo de la falta de valor que se le había dado a este tipo de escultura, al menos hasta este momento. Sin embargo, por fin han sido estudiadas y restauradas por parte de los técnicos del museo hispalense, gracias a financiación internacional, no obstante, aún no se ha publicado ni divulgado ningún tipo de información respecto a dichas obras por parte de la Institución. Siendo imposible por ahora acceder a la memoria final o a los datos generados en dicha intervención. En la actualidad, se encuentran expuestos en depósito en el Museo de la Civilizaciones de Europa y del Mediterráneo (MuCEM) de Marsella (Francia), siendo -paradójicamente- esta institución extranjera la pionera tanto en exponer como en apreciar el valor de tan destacadas piezas.

Aplicación del modelo de estudio a la imagen de vestir de Santo Domingo de Guzmán del Monasterio de Santa María la Real de Bormujos

Una vez desprovista de sus vestiduras y ornamentos, la escultura de Santo Domingo se confirma que es una imagen de vestir de bulto redondo policromada, representada con las prendas interiores masculinas propias de finales del siglo XVI y principios del XVII [Figura 9]. Es decir, una camisa amplia de color crudo imitando al lino que llega hasta por debajo de las rodillas. El cuello es redondo, rizado, rematado y abrochado mediante un botón. La camisa es abierta en el centro montando la parte izquierda sobre la derecha y abrochada mediante veinte botones forrados y ojales, colocados de dos en dos, perfectamente realizados y decorados. Estos elementos o decoración en la indumentaria se han observado también en el jubón de la Virgen de las Angustias de Córdoba (I.A.P.H. 2011: 8) y en las imágenes de San Pablo Miki y San Juan Goto.

Cabe destacar la similitud compositiva de la imagen de San Pablo Miki del Museo de Bellas Artes de Sevilla, pareciera que están hechas a partir de la misma plantilla, pero a diferente escala pues la imagen jesuita es mucho mayor (173 cm de altura) que la imagen dominica (140 cm de altura) [Figura 10].

Esta costumbre de tallar la indumentaria interior tanto masculina como femenina era muy frecuente en la obra de Juan de Mesa, como en la imagen de Jesús Nazareno de la iglesia conventual del Espíritu Santo de La Rambla (Córdoba), que se encuentra totalmente tallada, anatomizado el torso, la espalda y muslos, tallado su sudario, articulados los brazos y encarnado o policromado debidamente (Hernández 1983: 65). De igual forma, la Virgen de la Encarnación de los Terceros presenta la particularidad de tener esculpido un jubón de escote cuadrado perfilado por una línea marrón, que



Figure 9.- Diferentes vistas generales de Sto. Domingo de Guzmán. Autor imagen: © David Triguero Berjano.

deja entrever parte del busto que insinúa los pechos de la imagen. Dichas características también se han observado en la imagen de la Virgen del Valle (I.A.P.H. 2006) de Sevilla -dolorosa atribuida al escultor cordobés (Pareja 2006: 115), también en la imagen de la Virgen de la Concepción, “La Sevillana”, del convento de San Buenaventura de Sevilla y en la recientemente restaurada imagen de la Virgen de Rosario de Morón de la Frontera, también atribuida al escultor cordobés (Coronado 2017).

Otro de los elementos que observamos es el cinturón, perfectamente realizado simulando cuero negro y con hebilla ovalada doble, típica del siglo XVI y principio del siglo XVII. En las piernas, lleva talladas unas calzas o leotardos ajustados. Son policromados en blanco, siendo la única prenda que hemos podido observar ricamente estofada, simulando el típico muaré. Presenta unos zapatos negros planos con ataduras sobre el empeine muy similares a los de las imágenes de la Virgen de las Angustias, la Virgen de la Encarnación y las de San Pablo Miki y San Juan Goto.



Figure 10.- Comparativa de dos imágenes de vestir de bulto redondo sin ropas: San Pablo Miki (Juan de Mesa, 1627) y Santo Domingo de Guzmán de Bormujos. San Pablo Miki por Juan de Mesa, 1627. ©Museo de Bellas Artes de Sevilla. Fotografía: Pepe Morón. Autor foto de Santo Domingo de Guzmán: ©David Triguero Berjano.

Con independencia de las cuestiones relacionadas con la estética compositiva de la imagen, la pieza muestra una de las principales características de las obras realizadas por Juan de Mesa. Nos referimos a la perfecta factura técnica de la obra, tallada con habilidad y construida cuidadosamente, lo que por otra parte ha garantizado su óptima conservación en la mayoría de los casos. Se trata de obras estratégicamente ahuecadas, disponiendo hasta

de un hueco situado entre las piernas que servía para la mejor ventilación de su interior [Figura 2].

Conserva sus brazos originales, con algunas reparaciones o refuerzos metálicos. Son articulados mediante el sistema denominado de “gozne” o “galleta” [Figura 11]. Se trata de un complejo y perfecto sistema de articulación mecánico realizado mediante diferentes piezas de madera unidas entre sí, pudiendo adquirir cualquier movimiento de flexión y rotación en los hombros, codos y muñecas. Los brazos están formados por un total de ocho piezas: dos galletas, el brazo, antebrazo y cuatro espigas de madera que ajustan y sujetan entre sí todas las piezas al hombro de la imagen. Las articulaciones para la flexión se encuentran en los hombros y codos; los de rotación en la unión del cuerpo al brazo, y el brazo con el antebrazo. Los brazos son alojados en los taladros realizados en las axilas, que se encuentran bloqueados por unos pasadores de madera perpendiculares que los anclan para permitir el giro. Las espigas de madera de los elementos llamados “galletas” que se introducen en el torso en la articulación de los hombros presentaban una hendidura perimetral que permitía su giro, al encajar en dos espigas que las bloqueaban. Este sistema de articulación es característico del autor, como se documenta en el contrato con la Hermandad del Amor de Sevilla, concertado con el maestro escultor Juan de Mesa, el 13 de mayo de 1618: “[...] una hechura de Xpto crucificado [...] y una hechura de imagen de Nuestra Señora que sea de altura de dos varas con sus manos y brazos de gonses” (A.H.P S. 1618). Dichos sistemas de articulación original aún se conservaban en las imágenes de la Virgen de las Angustias de Córdoba, la Virgen de la Encarnación de Sevilla y en la Virgen del Rosario de Morón de la Frontera hasta que, lamentablemente con las últimas intervenciones, fueron sustituidos por brazos nuevos con sistemas de articulación de fosa y bola.

En cuanto a su cabeza [Figura 12], aunque esta intervenida en el siglo XVIII para colocarle los ojos y realizarle una nueva policromía, conserva todavía unas características morfológicas originales muy bien definidas. Presenta el cerquillo capilar mediante el característico roete ondulado alrededor del cráneo siguiendo el modelado típico mesino, la parte superior afeitada, el bigote y la barba peleteada y bífida perfectamente dibujados y tallados. Así mismo, las cejas son finas y las orejas separadas y bien definidas. De igual forma, sus labios se encuentran semicerrados.

En cuanto a su mirada la imagen de Santo Domingo presenta ojos de vidrio, posiblemente colocados en una “restauración” realizada en 1789 (Bormujos 1702: 123) de la mano de Cristóbal Ramos que también recompuso la imagen de Santa María de Gracia, imagen titular del convento (Triguero 2021 a).

Por otra parte, algunos autores han hablado a propósito de algunas imprecisiones anatómicas y desproporciones presentes en la obra del artista, atribuyéndolas a una ejecución apresurada (Delgado 2006: 689-692). En

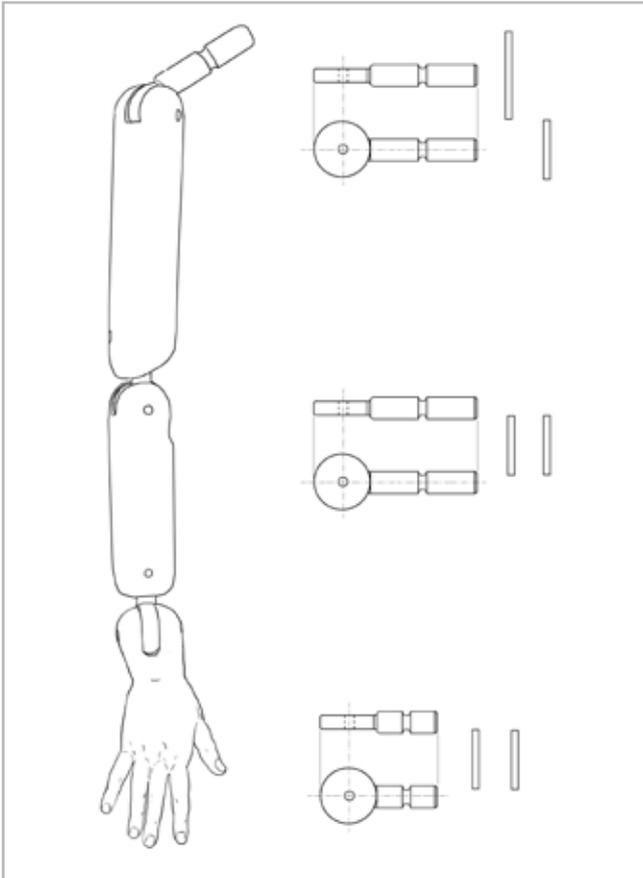


Figure 11.- Infografía de un sistema de articulación de brazos y manos de "gozne" o "galleta" de Juan de Mesa. Autor imagen: © David Triguero Berjano.

cualquier caso, se trata de rasgos estilísticos que son identitario del autor. Es el caso de la disposición de las orejas, colocadas en el óvalo craneal un poco más retrasadas de lo que sería su ubicación natural.

En cuanto a las manos presentan una visión más naturalista, con los dedos separados y mórbidas blanduras; su diseño y modelado encuentran gran similitud con las manos de San

Pablo Miki [Figura 10]. Se aprecian además otra serie de recursos mesinos muy habituales en este tipo de imágenes, tales como el tratamiento detallado y naturalista tanto de la representación de las prendas como de la anatomía, así como una mayor concentración de recursos expresivos en la cabeza.

Además, durante este estudio se han comparado dos imágenes cuya cabeza guarda un gran parecido estilístico y morfológico con la imagen de Santo Domingo. En primer lugar, la imagen de Santo Domingo Penitente hoy en día en el museo de Bellas Artes de Sevilla, procedente del retablo mayor del Monasterio de Sto. Domingo de Portacoeli de Sevilla, realizado por Juan Martínez Montañés entre 1605 y 1609 (Hernández 1987: 118). En dichos trabajos no es de extrañar que participara el joven Juan de Mesa, ya que como es bien sabido en junio de 1606, entró como aprendiz en el taller del maestro Montañés. También, se ha encontrado gran parecido fisionómico, en cuanto a la morfología y estética, con la cabeza de la imagen de San Francisco del convento de Santa Clara de Sevilla. Se trata de una de las imágenes que preside uno de los retablos laterales del citado convento que, aunque no está documentado, se atribuyen a Martínez Montañés o a su taller y que realizaría entre 1621 y 1626 (Hernández 1987: 205). No queda claro si Mesa participó en la elaboración de alguna de estas imágenes o sencillamente se inspiró en la obra de su maestro.

Conclusiones

Este trabajo de investigación es una aportación metodológica que suma en el objetivo de llenar un vacío existente en el campo de los estudios de las imágenes de vestir. En particular, en lo que respecta al corpus de obra de imágenes de vestir que realizó Juan de Mesa.

La propuesta metodológica para el análisis estilístico y técnico de imágenes de vestir de bulto redondo se basa en el análisis comparativo de elementos estructurales ocultos



Figure 12.- Diferentes vistas de la cabeza de Sto. Domingo de Guzmán de Bormujos, en la que se aprecian varios elementos estilístico-proprios de la estética mesina. Autor imagen: ©David Triguero Berjano

tras las vestimentas, como son el sistema constructivo o el sistema de articulación de los brazos, y puede ser complementada con estudios científicos tales como radiografías, TAC, caracterización de materiales, etc.

En cuanto a la aplicación del método a las imágenes de bulto redondo, se puede afirmar que los elementos que componen una imagen de vestir, su estructura, las partes talladas o incluso la vestimenta y ornamentos, portan valores estéticos genuinos de cada momento y cultura. Estos elementos deben ser considerados como irremplazables, pues no sólo preservan la idiosincrasia estética de la obra, si no que portan una información valiosa a la hora de datarla o atribuirla a una escuela o autor determinado. Por ello, es recomendable a la hora de abordar este tipo de bien cultural, se realicen estudios históricos, estilísticos y morfológicos que sirvan para poner en valor cómo y de qué forma fueron realizados, evaluando los pormenores interiores de los que está compuesta la pieza. Teniendo el mismo cuidado con todos los elementos constitutivos, tanto visibles o exteriores cómo ocultos o interiores (González 1989: 241) que pueden ponerse en valor mediante técnicas de diagnóstico como la radiografía o TAC.

La aplicación de la metodología requiere de un análisis comparativo, morfológico, técnico y estético, entre obras documentadas de cada autor, y otras atribuidas, buscando las características distintivas. En el caso de la talla de bulto redondo hasta el momento inédita de Santo Domingo de Guzmán, gracias al método propuesto, se puede defender que la pieza corresponde técnica y estéticamente con otras piezas documentadas a Juan de Mesa, hecho que permite afirmar, con un alto grado de certidumbre, que la escultura de Santo Domingo de Guzmán pertenece al círculo artístico de Juan de Mesa y, con mucha probabilidad, a su propia mano.

Desde el punto de vista de la conservación, la falta de valoración generalizada de las imágenes vestideras ha hecho que se pierdan muchas imágenes, o hayan sido modificadas y transformadas, perdiendo información histórica sobre el autor, los cánones estilísticos y dogmáticos de la época, o la forma de vestir que debe ser reflejo de las costumbres. Por lo que, esta investigación pone en valor la necesidad del estudio de los elementos ocultos de las imágenes de vestir, como parte fundamental de una obra que deben conservarse.

Agradecimientos

El autor quiere agradecer a la congregación de Madres Dominicas del Monasterio de Santa María la Real de Bormujos, Sevilla, por permitir el acceso y estudio a la imagen de Santo Domingo de Guzmán. De igual forma a D. Gabriel Ferreras Romero por su colaboración en esta investigación mediante la cesión de fotografías pertenecientes a su archivo personal.

Referencias

- AMADOR MARRERO, P. F. (2009). "Interdisciplinaridad y ciencia: La restauración histórica y material" en, *El Señor a Columna y su Esclavitud*. Excmo. Ayuntamiento de la Villa de Orotava. La Orotava (Tenerife).
- ARANDA DONCEL, J. (2003). *Córdoba en la época de Juan de Mesa*. Córdoba: Servicio de publicaciones de la Universidad de Córdoba.
- ARCHIVO HISTÓRICO PROVINCIA DE SEVILLA (A. H. P. S) (1618). *Transcripción Contrato entre Juan de Mesa, escultor y arquitecto, y Francisco de Alvarado (mayordomo de la Hermandad del Amor), para la hechura de un Cristo crucificado y una imagen de Nuestra Señora*. https://www.juntadeandalucia.es/cultura/archivos_html/sites/default/contenidos/archivos/ahpsevilla/documentos/Transcripcixn_Contrato_amor.pdf. [consulta: 15/09/2021].
- ARJONILLA ÁLVAREZ, M., TRIGUERO BERJANO, D. & GONZALEZ FUENTES, M. (2014). *Memoria de intervención San Francisco de Borja. Juan Martínez Montañés y Francisco Pacheco, 1624*. Sevilla. Centro de Iniciativas Culturales de la Universidad de Sevilla (CICUS).
- BORMUJOS (Sevilla), Convento de Santa María la Real. A.S.M.G., 1702. *Libro en el que se da noticia de la fundación de este convento de Sta. María de Gracia y ábitos, profesiones, prioratos, y muertes de las religiosas y otras noticias dinas de memoria*.
- CARRASCO, F. (2006). "Juan de Mesa, ¿autor de de al Virgen de la Encarnación de la Cena?". *ABC Sevilla*, 20 Agosto: 19.
- CORONADO CABRERA, F. J. (2017). "La Virgen del Rosario de la parroquia de San Miguel: ¿una nueva aportación a la obra de Juan de Mesa?". *MORÓN COFRADE*.
- DELGADO ABOZA, F. M. (2006)." Análisis Histórico- artístico de una singular imagen: Nuestra Señora de la Encarnación del antiguo convento de los Terceros. *Boletín de las Cofradías de Sevilla*, Nº572: 689-692.
- GÓMEZ PIÑOL, E. (2000). *La iglesia colegial del Salvador*. Sevilla: Fundación Farmacéutica Avenzoar.
- GAÑAN MEDINA, C. (1999). *Técnicas y evolución de la imaginería policroma en Sevilla*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- GONZÁLEZ GARCÍA, P. (1989). "El ensamblaje de una escultura del siglo XVII", en Laboratorio de Arte Universidad de Sevilla. <http://institucional.us.es/revistas/arte/02/001%20gonzalez.pdf>. [Consulta 8-9-2021].
- GONZÁLEZ GÓMEZ, J. M. (2000)." Juan de Mesa, San Juan Bautista". *Alonso Cano (1601-1667) y la escultura andaluza hacia 1600*. Córdoba.
- HERNÁNDEZ DÍAZ, J. (1983). *Juan de Mesa. Escultor de imaginería(1583-1627)*. Sevilla: Exma. Diputación Provincial de Sevilla, 2ª edición.
- HERNÁNDEZ DÍAZ, J. (1987.) *Martinez Montañés*, Sevilla:

Guadalquivir.

I.A.P.H. (2006). *Memoria final de intervención Virgen del Valle. Hermandad de la Coronación de Espinas*. Sevilla: Consejería de Cultura. Junta de Andalucía.

I.A.P.H. (2011). *Memoria final de intervención del grupo escultórico de las Angustias. Juan de Mesa. 1627-1628. Iglesia de San Pablo de Córdoba*. Sevilla: Consejería de Cultura. Junta de Andalucía.

ICROA. (1973). *Informe sobre el estado de conservación y de la restauración aconsejable de la cabeza y manos de la imagen de María Santísima de la Esperanza Macarena, perteneciente a la Real Ilustre y Fervorosa Hermandad y Cofradía de Naranenos del Santo Rosario y María Santisimima de la Esperanza Macarena*. Sevilla. Madrid.

INFANTE GALÁN, J. (1971). "El vestido de la virgen del Rocío" en *Rocío. La devoción mariana de Andalucía*. Sevilla.

PACHECO, F. (2001). *Arte de la Pintura*. Madrid: Cátedra, 2ª ed.

PALOMERO PÁRAMO, J.M. (1983). *Las Vírgenes de la Semana Santa de Sevilla*. Sevilla: Biblioteca de Temas Sevillanos, Servicio de publicaciones del Ayuntamiento de Sevilla.

PAREJA LÓPEZ, E. (2006). *Juan de Mesa. Grandes Maestros Andaluces*. Sevilla: Tartessos.

RODRÍGUEZ G. DE CEBALLOS, A. (1984). "La repercusión en España del Decreto del Concilio de Trento acerca de las imágenes sagradas y la censura al Greco". *Studies in the History of Art*:153-159.

TRIGUERO BERJANO, D. (2014). "Origen y evolución de las imágenes vestideras de la Virgen". *Emerge 2014 - Jornadas de Investigación Emergente en Conservación y Restauración de Patrimonio*. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia, 483.

TRIGUERO BERJANO, D. (2017a). "Imágenes vestideras de candelero, su origen, evolución técnica y materiales". En *Escultura Ligera*. Valencia: Ajuntament de València: 135-146.

TRIGUERO BERJANO, D. (2017b). *Estudio morfológico y técnico de la imagen de Nuestra Señora de la Encarnación de la Hermandad de Ntra. Sra. de la Encarnación de la Iglesia de los Terceros de Sevilla*. Sevilla.

TRIGUERO BERJANO, D. (2019a). "La Santísima Virgen de Montserrat una imagen vestidera de candelero de Juan de Mesa". *Boletín de las Cofradías de Sevilla*. Nº 72. Sevilla: Consejo General de Hermandades y Cofradías de la ciudad de Sevilla: 147-150.

TRIGUERO BERJANO, D. (2019b). "Las imágenes vestideras de bulto redondo talladas y policromadas: un caso inédito de Juan de Mesa en Sanlúcar la Mayor". En *Arte, Educación y Patrimonio del siglo XXI*. Badajoz: Facultad de Educación Universidad de Extremadura: 401-415.

TRIGUERO BERJANO, D. (2021a). Informe diagnóstico y propuesta de intervención de la imagen de Sta. María de Gracia. Juan de Oviedo, siglo XVII. *Monasterio de Santa María la Real de Bormujos (Sevilla)*. Sevilla.

TRIGUERO BERJANO, D. (2021b). Informe diagnóstico y propuesta de intervención de San Juan Bautista. Juan de Mesa y Velasco, 1625-1626. *Monasterio de Santa María la Real de Bormujos (Sevilla)*. Sevilla.

Autor/es



David Triguero Berjano

datriber@gmail.com

Investigador

<https://orcid.org/000-0002-6946-874X>

Licenciado en Bellas Artes por la universidad de Sevilla (2001-2006), especialidad de Conservación-Restauración de Bienes Culturales. En 2013, obtiene el diploma de estudios avanzados (DEA). Perteneció al Grupo de investigación HUM-1069 *Patrimonio Cultural: Producción Conservación y Restauración*. Ha organizado y participado en diferentes proyectos de investigación, cursos, seminarios, congresos y conferencias a nivel nacional (COLBAA, Universidad de Sevilla, Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, Universitat Politècnica de Valencia, Universidad de Málaga,) e internacional (Dirección Desconcentrada de Cultura de Cusco. Ministerio de Cultura de Perú, ICOM-CC, etc.). Así mismo, ha trabajado como docente impartiendo prácticas a alumnos en la Universidad de Sevilla y en la Universidad Pablo Olavide. Ha realizado diferentes publicaciones científicas y monografías relacionadas con la conservación-restauración. Ha trabajado para el Patronato de la Alhambra, Instituto de Patrimonio Histórico Andaluz, Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía, Universidad de Sevilla, Arzobispado de Sevilla y diferentes Hermandades y Congregaciones Religiosas. Ha dirigido y participado en proyectos de conservación-restauración de obras de prestigiosos artistas.

Artículo enviado el 20/05/2022

Artículo aceptado el 11/06/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1131>

Mas allá de los primeros retratos fotográficos plateados: Estudio mediante microscopía SEM-EDX de dos daguerrotipos

Alba Guerrero García

Resumen: Los daguerrotipos fueron los primeros retratos fotográficos y su estudio resulta fundamental para entender su valor como objetos, su complejidad material y el carácter experimental de la fotografía en su época más temprana. Técnicas analíticas como la microscopía electrónica de barrido SEM-EDX han sido ampliamente utilizadas para la caracterización, diagnóstico y conservación, pues permiten tanto el estudio morfológico de su superficie como conocer la composición elemental de estas piezas tan singulares. El presente artículo expone los resultados obtenidos con esta técnica en dos daguerrotipos pertenecientes a la colección del ingeniero Gustavo Gillman del Archivo General de la Región de Murcia –AGRM- y al Laboratorio de Investigación Fotográfica de la Universidad de Murcia –LIFUM- con el fin de profundizar en su materialidad, modo de manufactura, aportar información acerca de su estado de conservación y averiguar las principales causas de su deterioro. Además, se pone de relieve la presencia de un elemento inusual en uno de los daguerrotipos, el uranio, y se debate acerca del papel que este podría desempeñar en la composición del objeto.

Palabras clave: fotografía, daguerrotipo, retratos, microscopía electrónica de barrido, SEM-EDX, uranio

Beyond the first silver photographic portraits: Study of two daguerreotypes with SEM-EDX microscopy

Abstract: Daguerreotypes were the first photographic portraits and their study is essential to understand their value, their material complexity and the experimental nature of photography in its earliest period. Analytical techniques such as SEM-EDX scanning electron microscopy have been widely used for characterization, diagnosis and conservation, since they allow morphological study of their surfaces and the elemental composition that form these unique artifacts. This research analyze and discuss the results obtained with this method in two daguerreotypes which belong to engineer Gustavo Gillman's collection, in the General Archive Region of Murcia –AGRM- and Photographic Research Laboratory in the University of Murcia –LIFUM-. The goal is to deepen understanding about their into materiality, manufacturing method, state of conservation and explore the main causes of deterioration. In addition, the presence of an unusual element in one daguerreotype as uranium is highlighted, and the role that this could play in the object is discussed.

Keywords: photography, daguerreotype, portraits, scanning electron microscopy, SEM-EDX, uranium

El daguerrotipo, primer procedimiento fotográfico

La sociedad del siglo XIX experimentó numerosos cambios científicos y tecnológicos, entre ellos, el nacimiento de la fotografía. En 1839 la presentación oficial del daguerrotipo en Francia se convertirá en la primera muestra pública de la captación de imágenes fotográficas. Su nombre se deberá a su principal impulsor, Louis-Jacques-Mandé Daguerre, aunque también previamente a las aportaciones y mejoras químicas que realizó su socio, Nicéphore Niépce, durante varias décadas de investigación con el procedimiento. La manufactura de los daguerrotipos ha sido ampliamente descrita tanto en la bibliografía tradicional, desde los tratados antiguos

de fotografía a las fórmulas empleadas por fotógrafos y científicos, hasta revisiones e investigaciones realizadas en épocas más actuales (Stark et al., 2021; Robinson 2017). Esencialmente, se trata de una placa de cobre recubierta de un estrato de plata que oportunamente sensibilizado con vapores de yodo, o también con vapores de bromo y cloro como aceleradores, se exponía a la luz y se revelaba con vapores de mercurio entre 60 y 120 °C, aunque la temperatura ideal y la cantidad fue objeto de debates entre daguerrotipistas (Humphrey 1858: 15). La reacción de estos elementos utilizados para sensibilizar la placa con el metal noble generaban las sales o haluros de plata fotosensibles. Una vez que era expuesta a la luz durante el tiempo necesario, el procesado de la placa requería la

eliminación del exceso de sales de haluro no expuestas y el fijado en una solución de tiosulfato de sodio, así como el posterior lavado y otros pasos complementarios que se van desarrollando progresivamente en torno a nuevos experimentos y añadidos al proceso como el virado, el coloreado manual y el retoque de elementos y joyas en los retratos. La imagen final, por tanto, es una amalgama de mercurio y plata y se muestra al espectador invertida como un espejo que, según el ángulo de observación, se verá como imagen positiva o negativa (Prieto 2016: 59). Así, se trata de un objeto que no posee emulsión y la imagen no se encuentra embebida en un aglutinante como ocurre en la mayor parte de procedimientos fotográficos (Esteban Vega 2016: 21), sino que esta se integra en el estrato del soporte [Figura 1].

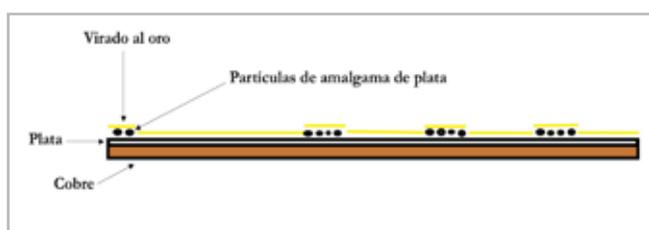


Figura 1.- Esquema de sección transversal de la estructura genérica de una placa de daguerrotipo. Elaboración propia a partir de Wei, Gerritsen, y Waldthausen (2011).

Hippolyte-Louis Fizeau descubrió en 1840 que los daguerrotipos tratados con una solución de cloruro de oro presentaban una mejora del contraste y una mayor resistencia física frente a la manipulación, en contraposición a los primeros no virados cuya imagen era frágil y podía perderse al mínimo roce (Lavédrine 2010: 38). El virado al oro o *sel d'or* -AuCl- comenzó a aplicarse de forma sistemática en la mayor parte de los daguerrotipos producidos a partir de esta década, cuyo proceso se realizaba aplicando la solución al cloruro de oro sobre la placa y calentándola por la parte trasera [Figura 2], aclarándola después.



Figura 2.- Proceso de virado en un daguerrotipo en laboratorio fotográfico LUPA Ida., siguiendo la fórmula tradicional, en el momento en el que se ha vertido la solución de cloruro de oro sobre la placa y se está calentando. Fotografía: A. Guerrero.

La fórmula del virado al oro aplicada en daguerrotipos $[Au(S_2O_3)_2]^{3-} + Ag \rightarrow Au + [Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$ también incrementaba su brillo y aportaba tonalidades más cálidas, además de mejorar su estabilidad y conservación (Ljubić y Kautek 2019: 1730). En el mismo año, Alexandre Edmond Becquerel descubrió un método de procesado sin el uso del mercurio, en el que el revelado de la imagen latente se realizaba exponiendo la placa varias horas a la luz con radiación roja o amarilla, bajo un vidrio coloreado (Barger y White 2000: 40).

Como procedimiento el daguerrotipo tendrá una vida breve, pues se utilizará durante un periodo de unos 20 o 30 años para documentar paisajes, monumentos y realizar retratos de estudio, hasta que se verá superado por nuevos avances y tecnologías fotográficas que lo irán sustituyendo progresivamente [1]. La sensibilidad de los daguerrotipos a abrasiones y su susceptibilidad al deterioro propiciarán en la época distintos métodos de sellado perimetral y protección de las placas. Estas serán colocadas en marcos y estuches refinadamente decorados, característica que ha posibilitado que muchos hayan permanecido hasta nuestros días gracias a sistemas de protección primaria –paquete daguerriano- y secundaria –marcos y estuches- (Prieto 2016: 59).

La investigación científica en daguerrotipos. Estudio de casos en el Archivo General de la Región de Murcia y el Laboratorio de Investigación Fotográfica de la Universidad de Murcia.

Por su importancia como objetos culturales, pues se trata de los primeros ejemplares en inmortalizar y documentar la realidad que han perdurado hasta nuestros días, los daguerrotipos han sido ampliamente revisados desde múltiples perspectivas. Así, las investigaciones en torno a estas primeras fotografías han abarcado desde su historia, materialidad técnica y conservación hasta los últimos estudios de carácter científico y analítico que están sirviendo para conocer estos objetos con una mayor profundidad y para mejorar sus métodos de conservación y restauración (Kozachuk *et al.* 2019; Ravines *et al.* 2014; Wei, Gerritsen y Waldthausen 2011). En el caso concreto de los daguerrotipos es muy importante aplicar instrumentación científica que no requiera la toma de micromuestras y no destructiva, con el fin de que el método utilizado ayude en el estudio de su composición, aspectos morfológicos y estructurales de la superficie de la imagen (Berdini, Ferro y Residori 2008: 30), así como de sus procesos de envejecimiento y deterioro para contribuir a mejorar los ámbitos de intervención y preservación (Wei, Gerritsen y Waldthausen 2011: 31).

Con respecto a su conservación y al estado en que han llegado a nuestros días, los daguerrotipos son susceptibles al oscurecimiento y deslustre de las capas metálicas a través de procesos de oxidación y sulfuración que, en casos extremos, pueden llegar a enmascarar y perder por

completo la imagen. La corrosión de la superficie de los daguerrotipos alterará la forma y refracción de las partículas de la imagen y, por lo tanto, la dirección y la intensidad de la luz dispersada (Stark *et al.* 2021: 1606). El deterioro químico originará manchas, oscurecimiento y algunos subproductos derivados de la corrosión de los metales que componen el objeto, siendo los más frecuentes el óxido y sulfuro de plata, cloruros de cobre y óxidos de cobre (Wei, Gerritsen y Waldthausen 2011: 31). Y, en general, compuestos de azufre que se originan por lavado incompleto durante la preparación original, la exposición a gases atmosféricos y el deterioro asociado a los vidrios de protección y a metales presentes en los elementos del estuche protector (Grieten *et al.* 2017: 57). Estas alteraciones se acelerarán en condiciones inadecuadas de humedad relativa y temperatura, motivadas por un almacenamiento con valores ambientales incorrectos así como la entrada de oxígeno y otros compuestos en el denominado paquete daguerriano, es decir, en el sistema de protección primaria destinado a proteger la placa.

El proyecto derivado de los casos a tratar tenía como objetivo principal estudiar la morfología, composición química y elemental de uno de los pocos daguerrotipos de la colección del ingeniero británico de obras civiles y

fotógrafo aficionado Gustavo Gillman y Bovet (1856-1922), cuyo fondo se conserva en su mayor parte en el Archivo General de la Región de Murcia –AGRM-^[2]. Se trata de un importante acervo ya que Gillman, además de gran éxito como ingeniero en las industrias de minas y ferrocarriles, realizó una extensa producción fotográfica y documentó muchas obras públicas en las que trabajó y lugares a los que viajó durante las últimas décadas del siglo XIX y primeras del siglo XX, especialmente en el sur de España y en la Región de Murcia aunque también en otros países como en su Gran Bretaña natal, Portugal y Brasil. Se decidió estudiar en profundidad este daguerrotipo por sus características y por el importante deterioro que presentaba en su imagen, que había desaparecido casi en su totalidad. El estado de conservación en general no era bueno, pues el propio estuche protector se encontraba muy deteriorado y en malas condiciones, careciendo prácticamente de sellado [Figura 3].

La placa daguerriana también estaba visiblemente afectada y desvanecida, ya que se había perdido casi por completo la imagen. Esta solo pudo ser observada y reconstruida a través de diferentes pruebas realizadas con fotografía técnica y diferentes fuentes de iluminación: normal, especular y difusa (Golovlev *et al.* 2002: 2), al igual que otros



Figura 3.- Documentación fotográfica y estado de conservación del daguerrotipo de la colección Gillman. Arriba, estuche cerrado y abierto. Abajo, elementos decorativos del estuche y placa vista por la parte trasera del sistema de montaje. Fotografías: A. Mesa del Castillo – AGRM.

elementos que pudieron apreciarse con más detalle como la marca de platero situada en el margen superior izquierdo de la placa [Figura 4]. Este desvanecimiento generalizado y pérdida de la imagen podía, hipotéticamente, deberse a distintos factores: a consecuencia de unas condiciones ambientales incorrectas en su almacenamiento que hubiesen acelerado su desaparición; a un procesado deficiente o experimental; a un método de limpieza agresivo en el pasado; o a la ausencia de virado en el daguerrotipo, circunstancia que se dio fundamentalmente en el uso temprano y experimental del procedimiento y cuyos casos han presentado una fragilidad notablemente mayor que la de aquellas placas que fueron viradas (Wetzel 2017: 154).



Figura 4.- Placa desmontada del estuche original y fotografiada con diferentes modos de iluminación. Fotografía: A. Mesa del Castillo – AGRM.

Además, para este proyecto se utilizó otro daguerrotipo perteneciente a la colección para fines de investigación y docencia que posee el Laboratorio de Investigación Fotográfica de la Universidad de Murcia - LIFUM^[3], de características y temática semejante, que aparentemente podía estar virado al oro y que sirviese para comparar los resultados en un análisis cualitativo. Antes de llevar a cabo la

investigación científica, los objetos fueron previamente desmontados, retirando las placas daguerrianas de sus estuches y montajes originales, de forma que quedaran libres para poder ser sometidas a estudio [Figura 5].

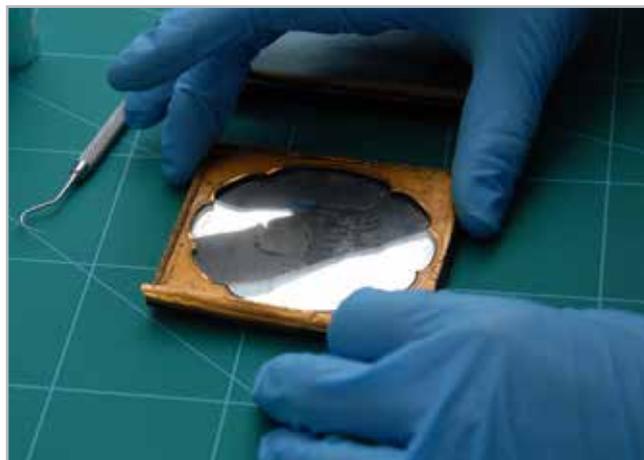


Figura 5.- Fase de desmontaje del daguerrotipo del LIFUM retirando el estuche, vidrio protector y el resto de elementos ornamentales metálicos. Fotografía: F. Vázquez Casillas - LIFUM.

Los dos objetos a analizar en este caso tenían tamaños de 1/6 y 1/4 de placa, medidas que en centímetros equivaldrían a 7,2 cm x 8,1 cm el daguerrotipo del LIFUM y 8,1 cm x 10,8 cm el del AGRM. Con respecto a la imagen, en ambos casos la iconografía es similar. Se trata de dos retratos cuya datación se había estimado cercana a la década de 1850. El daguerrotipo del LIFUM muestra a una niña sentada en una silla y el daguerrotipo de la colección de Gillman del AGRM muestra a dos niñas en un plano medio, una de ellas sentada en una silla junto a una especie de cortinaje, que podrían ser miembros de la familia del ingeniero. Sin embargo, esta es solo una hipótesis que no ha podido corroborarse aún. Lo que si se descarta es que el autor del daguerrotipo fuese el propio ingeniero, pues la edad y periodo de actividad fotográfica de este no coincide con la cronología del procedimiento así como tampoco la estética y la iconografía que presentan las retratadas.

Análisis no destructivo mediante microscopía electrónica de barrido SEM-EDX

Con el fin de conocer la composición elemental de los objetos y caracterizar su superficie se estudiaron los daguerrotipos con la microscopía electrónica de barrido SEM-EDX. El microscopio electrónico de barrido SEM acoplado a un espectrómetro de rayos X por dispersión en energías EDX - *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* permite trabajar con mayores aumentos que la microscopía óptica, siendo capaz de realizar además análisis químicos elementales de zonas cuyo tamaño sea a escala micrométrica (Juanes Barber, Martín de Hijas y Gómez Morón 2008: 69). Por ello, sirve para realizar un estudio de los rasgos topográficos superficiales de los objetos así como para el conocimiento y diagnóstico

de determinados procesos aplicados en la manufactura de los materiales (Ferro 2008: 11). El microscopio se encuentra también internamente equipado con unos detectores que recogen la energía y la transforman, lo que permite realizar un estudio microanalítico con fluorescencia de rayos X a través del detector de dispersión en energías. Este sistema detecta los rayos X generados, combinando imagen y análisis químico, y posibilita un análisis elemental de la composición de la muestra (Martín Castellano 2012: 38). Su fundamento consiste en hacer interaccionar un haz primario de electrones sobre un área del objeto que se pretende estudiar. Este haz debe ser muy fino, intenso y estable porque su función es explorar la superficie de la muestra, dando lugar a diversas señales que serán recogidas por diferentes detectores aportando información morfológica estructural y microanalítica según el detector que se haya utilizado. Para ser observadas las muestras deben estar libres de líquidos y si no son conductoras de la electricidad deber ser recubiertas con otro material conductor como el oro o grafito (Juanes Barber, Martín de Hijas y Gómez Morón 2008: 69). Sin embargo, este aspecto no fue necesario en el caso de objetos como los daguerrotipos con el equipo utilizado en modo de bajo vacío, empleado para muestras que no requieren preparación previa. Se trata, por tanto, de una técnica complementaria habitualmente empleada en patrimonio fotográfico, cuyos resultados pueden proporcionar información que va desde determinar las causas de deterioro hasta la ayuda y mejora en la definición de intervenciones de conservación, restauración y limpieza adecuadas (Kozachuk *et al.* 2019: 1680).

Una de las ventajas de su aplicación en los bienes culturales es la escasa proporción de muestra que se necesita para el análisis y la capacidad de, si el tamaño del objeto lo permite y se puede introducir en la cámara de vacío empleada, poder realizar un ensayo no destructivo sin necesidad de muestreo. En este caso, las medidas de los objetos a estudiar se ajustaban a la máxima permitida por el instrumental de microscopía escogido. De haberse dado el caso de que alguno hubiese sido de un tamaño mayor no se habría podido realizar el estudio con este método de análisis ya que los daguerrotipos, por su carácter de objetos únicos y su materialidad, no admiten toma de muestra y requieren de instrumentación no destructiva que permita analizar directamente sobre la placa sin dañarla, como se ha señalado. Por tanto, este aspecto era uno de los requisitos fundamentales a la hora de escoger el tipo de técnica. Así, la elección de la microscopía SEM-EDX se justifica y se basa en la necesidad de realizar un análisis cualitativo y, por ende, en el beneficio de obtener imágenes de la superficie del objeto frente a otras que aportarían datos similares como la fluorescencia de rayos X. Además, en el ámbito de los daguerrotipos, este es un método analítico ampliamente utilizado por estas posibilidades que ofrece. Por tanto, existe abundante bibliografía y casos de referencia para poder comparar resultados, pues los materiales fotográficos no gozan siempre de la popularidad de otros objetos patrimoniales y el número de investigaciones es mucho más reducido que en otras áreas.

En este caso, para el análisis de los daguerrotipos se recurrió al personal y al instrumental del Área Científica y Técnica de Investigación de la Universidad de Murcia. Se realizó un análisis no invasivo y no destructivo sobre el objeto con un microscopio electrónico de barrido JEOL-6100 provisto de un sistema de Microanálisis por Dispersión de Rayos X INCA de Oxford Instrument, con detector de Rayos X y de electrones retrodispersados acoplado a un sistema de captación de imágenes digital. Se empleó una tensión de aceleración de 20,0 kV. La interpretación de los espectros se realizó con el software de análisis INCA. Tras la calibración del aparato, las pruebas iniciales se realizaron primero con el daguerrotipo perteneciente al LIFUM para después comparar los resultados y utilizarlos a modo de referencia. Posteriormente se analizó el daguerrotipo a estudiar de la colección de Gustavo Gillman del AGRM, que se encontraba severamente desvanecido. Se realizaron varias mediciones puntuales en los dos daguerrotipos, obteniendo 6 espectros de diferentes áreas, tanto en zonas de densidad máxima de imagen – Dmax-, densidad mínima –Dmin-, detalles de superficie y zonas de deterioro que pudieron ser observadas en las imágenes SEM de electrones retrodispersados obtenidas con el microscopio.

Resultados y discusión

Las imágenes superficiales generadas mediante el estudio con la microscopía de barrido SEM muestran la morfología de la superficie del daguerrotipo a mayor resolución y permiten apreciar tanto zonas de deterioro químico como áreas en las que aparecen deterioros mecánicos. La imagen SEM de la zona 1 señala un área en la que existen puntos de oxidación, mostrando un ejemplo concreto en el que además se puede apreciar un daño mecánico que podría deberse a una leve abrasión o presión ejercida sobre la placa. En la región cercana al rostro de la niña en el daguerrotipo del LIFUM, mostrada en la Figura 6 y en la imagen SEM de la zona 2, puede apreciarse un deterioro de origen mecánico y probablemente químico que ha podido producirse por abrasión o fricción en presencia de alguna sustancia, contaminante ambiental o por contacto directo con alguno de los elementos del estuche del daguerrotipo durante la manipulación de este. Dada la difícil interpretación de las imágenes SEM en los daguerrotipos, se recurre a interpretar los resultados basados en fenómenos relacionados con la interacción entre electrones/superficie, en las áreas con un coeficiente de agrupación de elementos mayor aportado por la medición cualitativa.

En el daguerrotipo del LIFUM, el análisis cualitativo con EDX muestra la superposición del soporte de Cu y la capa de Ag. Los límites de detección del aparato con respecto al grosor –en μ - de la capa Cu detectan este último elemento del soporte en menor cantidad, siendo Ag el elemento predominante que se correspondería con el pico de mayor intensidad en el espectro [Figura 7].

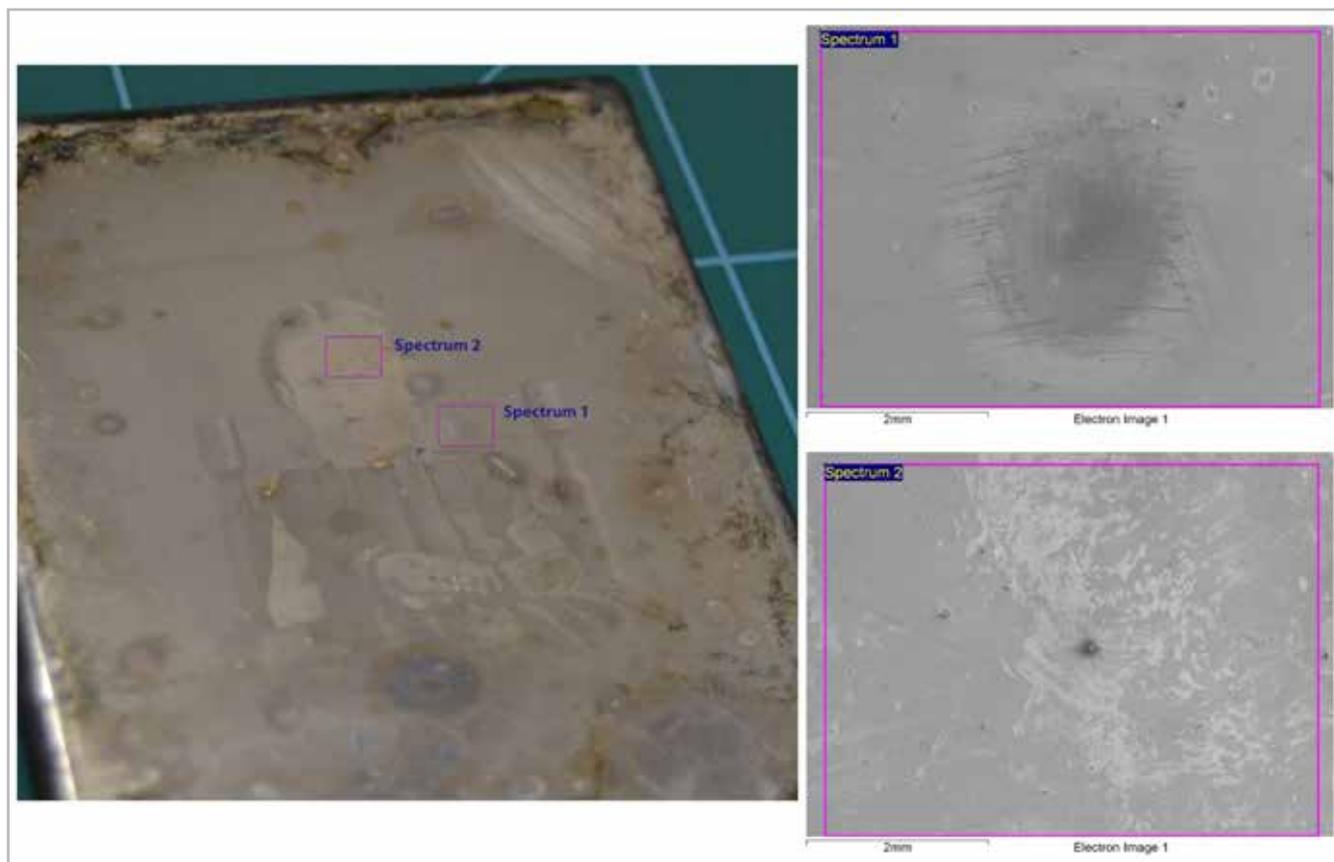


Figura 6.- Localización y detalle de las dos zonas analizadas con el microscopio SEM-EDX en el daguerrotipo del LIFUM (Spectrum 1 y 2). En las imágenes tomadas con la microscopía electrónica de barrido en modo de electrones retrodispersados puede apreciarse la topografía y el deterioro de la superficie del objeto en las dos áreas, a 20x.

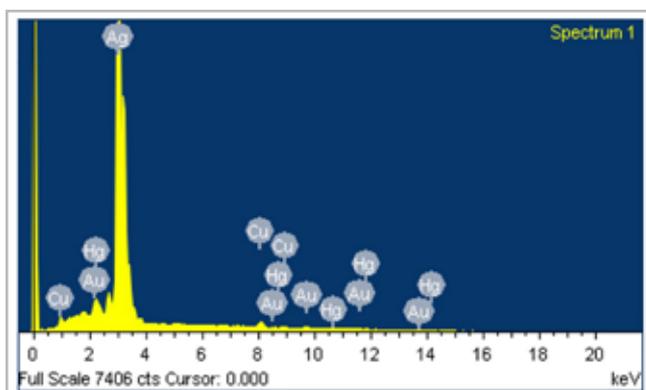


Figura 7.- Análisis elemental cualitativo y espectro EDX del área 1 del daguerrotipo del LIFUM.

La presencia de otro elemento como Au demostraría que el daguerrotipo fue virado al oro después del revelado de la imagen, como fue habitual en la época, y atestigua que este es posterior a 1840. Con el baño o virado al oro, que entra en contacto con la amalgama Ag-Hg formada durante el revelado, se produce un compuesto, la weishanita, con fórmula $(\text{Au,Ag})_3\text{Hg}_2$ (Berdini, Ferro y Residori 2008: 32). Por último, aparece representado en la gráfica y se corrobora la presencia de Hg como agente revelador, confirmando el papel del mercurio en la formación de la imagen latente que durante el revelado se combina para formar una

amalgama o solución sólida en diferentes ratios con la plata (Robinson 2017: 314). En este caso y teniendo como referencia las áreas en las que se ha realizado el análisis, no se han detectado otros elementos que suelen estar presentes en los daguerrotipos y que van a asociados a su proceso de deterioro químico y a la oxidación de la plata y los metales, como el azufre, S.

En el daguerrotipo de la colección Gillman se realizaron otras 4 mediciones y se cotejaron con las obtenidas en el del LIFUM. Esta comparativa se realizó con los resultados cualitativos de los diferentes elementos químicos obtenidos de los espectros, basados en el porcentaje en peso sobre el total de cada elemento detectado. En el ejemplar del AGRM, además de poder estudiar su superficie con las imágenes proporcionadas por la microscopía, se detectaron los componentes del soporte y elementos formadores de la imagen, apareciendo una escasa muestra de Au en solo dos de los puntos analizados. La proporción de este elemento aparece en un porcentaje muy pequeño –apenas un 0,2% del total– con respecto a lo habitual en daguerrotipos con virado, si se compara con el resultado del otro daguerrotipo y con los datos de otras investigaciones (Berdini, Ferro y Residori 2008: 35). El elemento Cu perteneciente al soporte de cobre, por ser la capa menos superficial, se detecta en un bajo porcentaje. La presencia de Hg como agente revelador no aparece en

ninguno de los espectros obtenidos en este daguerrotipo. Sin embargo, se detectó otro elemento en las zonas analizadas, el uranio (U) [Figuras 8 y 9], que aparece en una cantidad considerable en comparación con otros elementos como Au o Hg en el anterior objeto.

El uranio no es habitual en objetos como los daguerrotipos, aunque sí fue utilizado en otros procedimientos y en fórmulas de carácter más experimental. Su uso en fotografía se remonta a los primeros experimentos

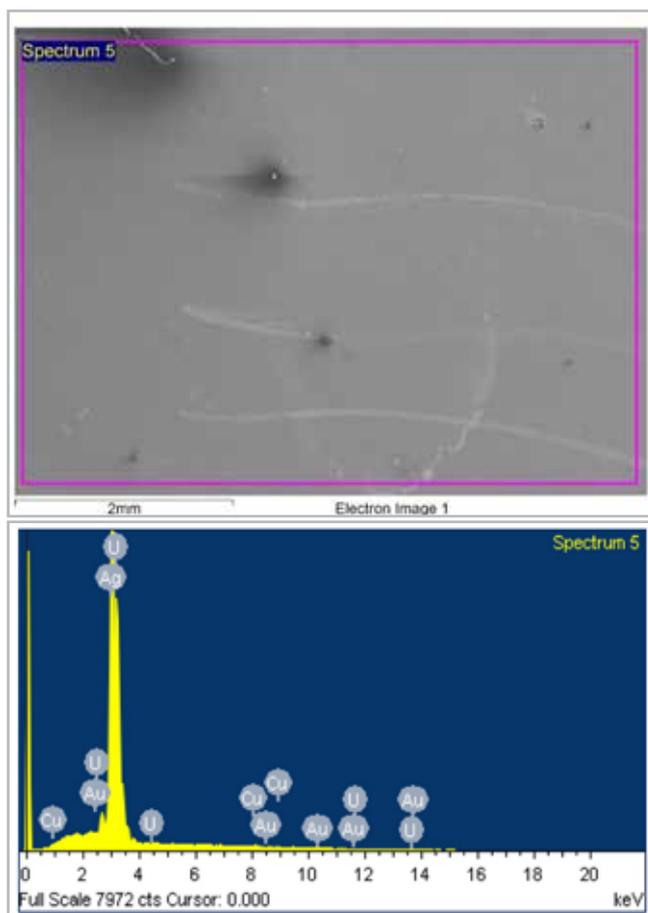


Figura 8.- Imagen SEM del daguerrotipo de la colección Gillman (20x) y espectro EDX nº 5 en el que se aprecian elementos del sustrato y la imagen como cobre, plata, uranio y oro.

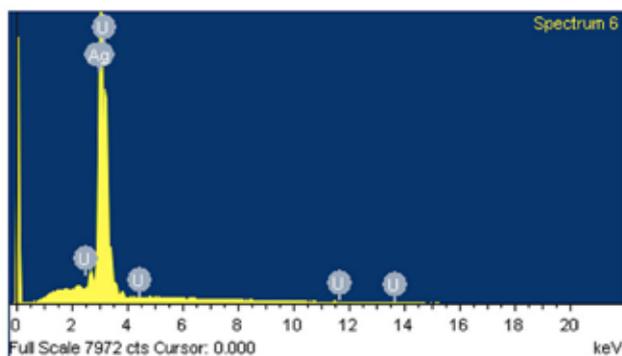


Figura 9.- Espectro EDX nº 6 de un área del daguerrotipo Gillman en el que se aprecian picos de plata y uranio.

realizados con otras sales sensibles a la luz alternativas a las de plata. Este también va asociado a las pruebas e investigaciones sobre las propiedades de las sales de uranio de Niepce de Saint-Victor, Alexandre Edmond Becquerel (Hannavy 2006: 1002), y al posterior descubrimiento de la radiactividad, con los estudios de su hijo Henry. Aunque el uranio y sus compuestos interesaron a los Becquerel, este ya había sido descubierto en 1789 por el químico alemán Martin H. Klaproth, pero permaneció en una especie de remanso científico hasta mediados del siglo XIX cuando Mendeleev formuló su tabla periódica, mostrándolo como el elemento más pesado (Badash 1996: 21).

Durante la primera mitad de este siglo, muchas sales metálicas fotosensibles se identificaron como candidatos para los procedimientos fotográficos, entre ellos el nitrato de uranilo ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$). Las primeras experimentaciones importantes con las sales de uranio se deben al escocés J. Charles Burnett en la década de 1850. Este presentó sus experimentos con copias fotográficas al uranio en la reunión de 1855 de la *British Association for the Advancement of Science in Glasgow*, en ocasiones llamados Uranotipos (Hannavy 2008: 230). La base de este procedimiento se basaba en la capacidad del ión uranilo para recoger dos electrones y reducir al estado de oxidación inferior del uranio (IV) bajo luz ultravioleta. Este estado de oxidación inferior del uranio puede reducir una sal de metal noble para formar la imagen metálica de plata, paladio u oro (Vogel 1883: 259; Hannavy 2008: 858). Las imágenes fotográficas que se conservan son ligeramente radiactivas, una propiedad que sirve como medio de identificación no destructiva.

Burnett también fue pionero en la investigación con otros elementos como el platino y el paladio así como en el uso de procesos fotosensibles que mezclaron elementos como uranio y oro, una especie de crisotipos, hacia 1857 (Burnett 1857: 160; Hannavy 2008: 230). Así, combinó y empleó las sales fotosensibles de uranio (IV) en vez de las de hierro (III) para sus imágenes al oro (Ware 2006: 125). En algunos manuales de época también aparece el uranio asociado a baños para producir determinados efectos en procedimientos como la heliografía de Niepce, la heliocromía y los experimentos de Niepce de Saint-Victor con uranio-oro, aunque haciendo mención de forma somera y escueta (Humphrey 1858: 76; Hannavy 2008: 393). En importantes publicaciones periódicas, como *The British Journal*, también se describían habitualmente fórmulas para el virado con este elemento ^[4]. Otro de los usos menos conocidos del uranio en fotografía sería también su utilidad como intensificador. En el caso de negativos subexpuestos o imágenes de bajo contraste, en algunos casos se utilizaron baños y agentes para intensificar con distintas soluciones entre las que se emplearon elementos como yoduro de mercurio, plomo, ferrocianuro de potasio, nitrato de uranio o bromuro de cobre, entre otros (Hannavy 2008: 749). Una de las características de los procesos que empleaban las sales de uranio y fotografías viradas con este elemento son los tonos que aportaba a las imágenes, generalmente rojizos.

Otros procedimientos fotográficos más elaborados que utilizaron este elemento surgieron y desaparecieron durante la segunda mitad del siglo con nombres como Wothlytype, que debe su nombre a su inventor Jacob Wothly en 1864 (Hannavy 2008: 1155), Mercurio-Uranotype y Auro-Uranium. Los papeles de uranio se fabricaron comercialmente al menos hasta fines del siglo XIX, desapareciendo ante la sensibilidad superior y las ventajas prácticas de los haluros de plata. El uranio también fue empleado en objetos como placas de vidrio al gelatinobromuro, tanto en agentes viradores como en otros elementos como las máscaras (Roldán, Juanes 200: 149). En 1892, Alfred Stieglitz experimentó y utilizó las sales de nitrato de uranio como virador en diapositivas en placa de vidrio, aportando fórmulas para obtener diferentes tonalidades (Herrera 2009: 3). Es posible encontrar algunas de sus experiencias en diferentes publicaciones de aquel momento (Stieglitz 1892: 42) ^[5]. De forma más contemporánea, entre la década de 1930 y 1950 Kodak Books todavía describía el tóner de uranio, el *Kodak Uranium Toner T-9*, que utilizaba nitrato de uranio hexahidrato. En la actualidad, unos pocos fotógrafos que utilizan procesos alternativos aún experimentan con fórmulas similares ^[6].

Sin embargo, actualmente no se han encontrado referencias bibliográficas con respecto al uso del uranio en daguerrotipos o en el procesado de técnicas fotográficas similares en soportes metálicos, por lo que estos resultados dejan cierta incertidumbre y abren un amplio abanico de posibilidades de cara a investigaciones o estudios en la época más experimental de la fotografía, cuando los fotógrafos y químicos trataban de mejorar sus fórmulas y buscar los mejores métodos para la captación de imágenes de la realidad.

Conclusiones

El análisis mediante microscopía SEM-EDX ha aportado información valiosa acerca de la composición química elemental de los dos daguerrotipos, a partir de la presencia de elementos comunes en estas piezas como Au y Hg, y otros menos habituales como U. En el daguerrotipo del LIFUM empleado como muestra comparativa, esta prueba ha determinado que se trata de un procesado habitual con virado al oro, tal y como se esperaba, y entre sus elementos han aparecido los propios del proceso estándar: el cobre de la placa, la plata del estrato pulido y de la amalgama, el mercurio como agente revelador y el oro como agente virador. En el segundo daguerrotipo, el análisis ha determinado unos resultados poco corrientes en objetos de esta tipología así como información con respecto a su estado de conservación. En este caso, ha sido posible comprobar que el desvanecimiento y la pérdida generalizada de la imagen no se deben a una ausencia de virado, tal y como ocurre en algunos de los ejemplares más tempranos del procedimiento. En los puntos analizados no se ha detectado presencia de sustancias como el azufre

derivadas de procesos de deterioro químico, que viene asociado a la oxidación y sulfuración de metales como la plata, lo cual puede deberse a que el muestreo no se ha realizado en zonas donde se inician habitualmente estos deterioros, como en los márgenes de las placas o en puntos concretos visiblemente afectados.

El hecho de que el ejemplar de la colección del AGRM contenga uranio en su composición abre una serie de hipótesis que podrían relacionarse con un uso o aplicación experimental en el procedimiento del daguerrotipo. También, la presencia de este elemento químico podría haber influido en su estado de conservación actual y en el desvanecimiento de la imagen, pues el uranio es inestable. Como contrapunto, la ligera cantidad de oro en el daguerrotipo ha podido contribuir a su estabilidad y ralentizar la desaparición de la imagen, posibilitando que aún quede algo de ese retrato de dos niñas que a simple vista estaba oculto. En este sentido, combinar diferentes métodos de iluminación, fotografía técnica y digitalización ha sido fundamental para que quede un registro gráfico del contenido de la placa y de la imagen que esta inmortalizó.

Estudios complementarios, otros análisis científicos y técnicas de microscopía más avanzada serían de gran utilidad en este caso, pues los resultados son interesantes y reveladores pero necesitan de una mejor comprensión y de información más detallada para realizar una interpretación de los mismos, tanto a nivel morfológico y estructural del elemento como de su papel en el objeto. Con este estudio previo no ha sido posible aportar una conclusión firme acerca de la presencia del uranio en este daguerrotipo, aparentemente experimental. Por tanto, de cara a futuras investigaciones sería deseable establecer si este se justifica como agente revelador o sal sensible de uso experimental en el daguerrotipo; como un método de virado combinado con otro metal como el oro; o si por el contrario se trata de un elemento, impureza o aleación presente en el soporte, hipótesis que podría parecer menos plausible dadas las cantidades en las que el elemento ha sido detectado en comparación con otros materiales como el cobre y a que en las muestras analizadas no se ha podido percibir con seguridad cual sería el agente revelador, como debería ser el mercurio en el caso de daguerrotipos. En cambio, sí existe certeza de que esta previa investigación contribuirá a una mejor conservación y restauración del objeto en un futuro conociendo la casuística de este ejemplar y la particularidad que el daguerrotipo de la colección de Gustavo Gillman ha revelado en los resultados.

Notas

[1] La iniciativa internacional colaborativa y base de datos Daguerreobase posee abundante información y ejemplos acerca del procedimiento del daguerrotipo, sus orígenes y evolución: <http://www.daguerreobase.org/en/>. [consulta 7/2/2022].

[2] Sobre este fondo se pueden consultar los elementos que lo

conforman, la biografía de Gillman y la descripción archivística del daguerrotipo en la web del AGRM: <https://archivogeneral.carm.es/archivoGeneral/arg.inicio> [consulta 3/2/2022].

[3] Sitio web del LIFUM: <https://www.um.es/web/lifum/quienes-somos> [consulta 10/2/2022].

[4] The British Journal of Photography, vol. XXXVIII, 1 de enero de 1892, Londres. Véanse las descripciones y formulas del uranio como intensificador y agente virador que produce tonos rojizos y cálidos en las fotografías en las págs. 14, 15, 124, 172, 173, 227, 269, 309, 310, 339, 340, 349.

[5] Esta investigación se publica por primera vez en The Photographic Times, el 22 de enero de 1892, pp. 42-43, y más tarde en el *Bulletin de la Société Française de Photographie*, en su Volumen Octavo de 1892, págs. 187-190.

[6] Fotógrafos e investigadores que recuperan técnicas alternativas continúan experimentando con este tipo de fórmulas antiguas y realizan revisiones de algunos procedimientos más experimentales. En particular, Mike Ware recoge en su página web toda una serie de experiencias, publicaciones, proyectos y estudios realizados acerca de procesos alternativos: <https://www.mikeware.co.uk/mikeware/main.html>, [consulta 5/2/2022].

Referencias

BADASH, L. (1996). "The discover of radioactivity", American Institute of Physics, *Physics Today*: 49 (2): 21-26, <https://physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/1.881485>.

BARGER, M. S.; WHITE, W. B. (2000). *The Daguerreotype Nineteenth-Century Technology and Modern Science*, Baltimore: Johns Hopkins University Press.

BERDINI, V.; FERRO, D.; RESIDORI, L. (2008). "Il daguerrotipo: struttura e degrado". En *Scienza & ricerca per i beni culturali. Microscopia elettronica a scansione e microanalisi*, Pinzari, F. (coord.) Quaderni 2, Istituto Centrale per la patologia del libro, Roma: Gangemi Editore.

BURNETT, C.J. (1857). "On the application of Uranium and other matters to Photography", *Photographic Notes*, 2: 97-101, 160-4, 181-4, 345-6.

ESTEBAN VEGA, R. (2016). "Restauración de un daguerrotipo español de 1844", *Ge-Conservación*, 10: 20-30, <https://doi.org/10.37558/gec.v10i0>.

FERRO, D. (2008). "La microscopia a scansione per la storia, per l'arte, per la conservazione". En *Scienza & ricerca per i beni culturali. Microscopia elettronica a scansione e microanalisi*, Pinzari, F. (coord.) Quaderni 2, Istituto Centrale per la patologia del libro, Roma: Gangemi Editore.

GOLOVLEV, V. V.; HOGAN, D. L.; GRESALFI, M. J.; MILLER, J. C.; ROMER, G.; MESSIER, P. (2002). Digital imaging for documenting

and modeling the visual appearance of 19th century Daguerreotypes, *Journal of Imaging Science*, 46: 1-7.

GRIETEN, E.; SCHALM, O.; TACK, P.; BAUTERS, S.; STORME, P.; GAUQUELIN, N.; CAEN, J.; PATELLI, A.; VINCZE, L.; SCHRYVERS, D. (2017). "Reclaiming the image of daguerreotypes: Characterization of the corroded surface before and after atmospheric plasma treatment" *Journal of Cultural Heritage*, 28: 56-64, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.05.008>.

HANNAVY, J. (2008). *Encyclopedia of Nineteenth-Century Photography*, Nueva York: Taylor & Francis Group.

HERRERA, R. (2009). "Treatment of Alfred Stieglitz's Lantern Slides", PMG Winter Meeting Tucson, Arizona, Topics in *Photograph Preservation*, 13: 170-180.

HUMPREY, S. D. (1858). *American Handbook of the Daguerreotype: Giving the most approved and convenient methods for preparing the chemicals, and the combinations used in the art. Containing The Daguerreotype, Electrotype, And Various Other Processes Employed In Taking Heliographic Impressions*. 5ª edición, Nueva York: Humprey.

JUANES BARBER, D.; MARTÍN DE HIJAS, C.; GÓMEZ MORÓN, A. (2008) "Aplicaciones de la Microscopía óptica y electrónica de barrido". En *La Ciencia y El Arte, IPCE y Ministerio de Cultura de España*, 1: 68-80.

KOZACHUK, M. S.; SHAM, T. K.; MARTIN, R. R.; NELSON, A. J.; COULTHARD, I. (2019). "Eyeing the past: synchrotron m-XANES and XRF imaging of tarnish distribution on 19th century daguerreotypes", *Journal of Synchrotron Radiation*, 26: 1679-1686, <https://doi.org/10.1107/S1600577519006313>

LAVÉDRINE, B. (2010). (Re)Conocer y conservar las fotografías antiguas. Francia: CTHS.

LJUBIĆ, V.; KAUTEK, W. (2019). "Highly Photosensitive Daguerreotypes and their Reproduction: Physico chemical Elucidation of Innovative Processes in Photography Developed around 1840 in Vienna" *ChemPlusChem*, 84: 1730 - 1738, <https://doi.org/10.1002/cplu.201900467>.

MARTÍN CASTELLANO, E. (2015). "Técnicas no destructivas para el estudio de los materiales fotográficos", *Moleqta*, 20: 37-39.

PRIETO, C. (2016) "Sistemas de protección primaria para daguerrotipos" *Ge-Conservación*, 9: 58-70, <https://doi.org/10.37558/gec.v9i0>

RAVINES, P.; BAUM, K. G.; COX, N. A.; WELCH, S.; HELGUERA, M. (2014) "Multimodality imaging of daguerreotypes and development of a registration program for image evaluation". *JAIC Journal of the American Institute for Conservation*, 53, 1: 19-32, <https://doi.org/10.1179/1945233013Y0000000014>

ROBINSON, M. (2017). "The techniques and materials aesthetics of the daguerreotype" Tesis doctoral, Faculty of Art, Design and

Humanities, De Montfort University of Leicester, <http://hdl.handle.net/2086/14332>. [Consulta: 4/2/2022]

ROLDÁN GARCÍA, C.; JUANES BARBER, D. "Fluorescencia de Rayos X mediante equipo portátil aplicada al estudio y conservación de Patrimonio Cultural". En *La Ciencia y El Arte*, IPCE y Ministerio de Cultura de España, 1: 140-150.

STARK, A.; FILICE, F.; NOËL, J. J.; MARTIN, R. R.; SHAM, T-K.; FINFROCK, Y.Z.; HEALD, S. M. (2021) "Retrieving Tarnished Daguerreotype Content Using X-ray Fluorescence Imaging. Recent Observations on the Effect of Chemical and Electrochemical Cleaning Methods", *Heritage*, 4: 1605–1615, <https://doi.org/10.3390/heritage4030089>

STIEGLITZ, A. (1892) "Toning slides with uranium salts, and a few additional remarks on the color of slides in general", *The Photographic Times*, 22 enero, Nueva York.

THE BRITISH JOURNAL OF PHOTOGRAPHY (1892), vol. XXXVIII, 1 de enero, Londres.

THE PHOTOGRAPHIC TIMES (1892), vol. XXII, 22 de enero, Nueva York.

VOGEL, H. (1883) "Chapter XVI. Photography with Iron, Uranium, And Copper Compounds". En *The Chemistry of Light and Photography. In their application to art, science and industry* (2011), Cambridge: Cambridge Press, <https://doi.org/10.1017/CBO9780511795176>.

WARE, M. (2006). "Chrysotype: Photography in Nanoparticle Gold", *Gold Bulletin*, 39, 3: 124-131.

WEI, W.; GERRITSEN, I.; WALDTHAUSEN, C. (2011). "Re-Examining The (Electro-)Chemical Cleaning of Daguerreotypes: Microscopic Change Vs. Macroscopic Perception", *Topics in Photograph Preservation*, 14: 24-40.

WETZEL, R. (2017). "An Experimental Era: The Ungilded Daguerreotype in Early America", PMG Winter Meeting in Kansas City, *Topics in Photographic Preservation*, 17: 154.

de fotografías con programas y becas como Leonardo Da Vinci, Eurodysea, Erasmus+ y Culturex, en instituciones como el Museu de Angra do Heroísmo, la Fundação Calouste Gulbenkian y empresas privadas como Lupa Ida. Actualmente es Técnica de Archivo Fotográfico en el Archivo Municipal de Mazarrón y continúa con la investigación y docencia como miembro del Laboratorio de Investigación Fotográfica de la Universidad de Murcia –LIFUM–, adscrito al Departamento de Historia del Arte de dicha universidad.

Artículo enviado el 19/05/2022

Artículo aceptado el 11/06/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1120>

Autor/es



Alba Guerrero García

alba.guerrero@um.es

Universidad de Murcia

<https://orcid.org/0000-0002-3234-4890>

Licenciada en Bellas Artes y Doctora en Historia del Arte. Máster en Investigación y Gestión del Patrimonio Cultural por la Universidad de Murcia y Máster en Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico por la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla, con formación adicional en conservación preventiva y conservación de materiales fotográficos. Experiencia profesional a través de programas internacionales en conservación y restauración

La Piedra fundacional de la iglesia de San Blas (Cuenca, Ecuador). Diagnóstico interdisciplinario y orientaciones de conservación

María del Cisne Aguirre Ullauri, Diana Carolina Cordero Mendieta, Luis Mario Almache Sánchez

Resumen: El presente trabajo expone el contexto histórico y estado de conservación de la piedra fundacional de la iglesia colonial de San Blas, edificio antecesor del existente. Al tratarse de un artefacto imprescindible para comprender la historia local y la lógica de aprovechamiento de los recursos del territorio, se recurre a diversos procesos investigativos para la determinación de su origen geológico y estado de conservación. La investigación bibliográfica y analítica mediante técnicas no invasivas (tomografía computarizada multicorte, petrografía mediante lámina delgada, microdifracción de rayos X, microscopía electrónica de barrido y fotogrametría), permiten determinar que, se trata de una caliza bioclástica de color amarillento posiblemente procedente de la formación Loyola (El Descanso, Azuay, Ecuador), aunque tiene semejanza con otras rocas como las areniscas o las lutitas. En su estado actual es un monolito compacto, sin fracturas internas o externas, pese a la irregularidad de las superficies y las condiciones agrestes a las cuales se enfrentó por varias décadas. Este marco proyecta un contexto de conservación preventiva capaz de catalogar y valorar afecciones desde la relación gravedad-probabilidad.

Palabras clave: TCM, caliza bioclástica, análisis no invasivo, , fotogrametría, microscopía, caracterización

The foundation stone of the church of San Blas (Cuenca, Ecuador). Interdisciplinary diagnosis and conservation guidelines

Abstract: This paper presents the historical context and state of conservation of the foundation stone of the colonial church of San Blas, the predecessor of the existing building. As it is an essential artifact to understand the local history and the logic of the use of the resources of the territory, several research processes are used to determine its geological origin and state of conservation. Bibliographic and analytical research using non-invasive techniques (multislice computed tomography, thin-film petrography, X-ray microdiffraction, scanning electron microscopy and photogrammetry), allow us to determine that it is a yellowish bioclastic limestone possibly from the Loyola formation (El Descanso, Azuay, Ecuador), although it has similarities with other rocks such as sandstones or shales. In its present state, it is a compact monolith, without internal or external fractures, in spite of the irregularity of the surfaces and the rough conditions it has faced for several decades. This framework projects a context of preventive conservation capable of cataloging and assessing conditions from the seriousness-probability relationship.

Keywords: multislice, bioclass limestone, non-invasive analysis, , photogrammetry, microscopy, characterization.

Introducción

La Iglesia de San Blas, al igual que la Iglesia de San Sebastián, supone un hito en el desarrollo arquitectónico y urbanístico de la ciudad de Cuenca (Ecuador). Su implantación al límite este del casco urbano colonial es propia de los procesos de evangelización y organización barrial de poblaciones indígenas en la América Hispana. Es decir, guardan implicaciones multidimensionales de relevancia indiscutible, e incluso con alcance prehispánico. Varias investigaciones (Chacón 1990; Idrovo 2010; Neira

2010; Espinoza 2012; Vargas & Vázquez 2019, entre otros) se han ocupado de estos particulares, destacando la existencia de dos edificios en el sitio de emplazamiento de la Iglesia de San Blas. El primero asociado a la propia fundación de la ciudad, y el segundo de época republicana. En ambos casos se trata de construcciones marcadas por las dinámicas sociopolíticas, económicas y culturales, y arquitectónicamente contrapuestas.

En este contexto, la presente investigación se inserta en el conjunto de estudios de tipo historiográfico y

arqueológico sobre la Iglesia de San Blas, incidiendo sobre la piedra fundacional de la desaparecida iglesia colonial. Se busca exponer las singularidades de la condición patrimonial de dicho bien mueble [Figura 1] a partir de sus particularidades intrínsecas a nivel físico. Preliminarmente se sabe que se trata de una piedra natural de forma rectangular (85 x 42 x 50cm) y 128 kg de peso aproximadamente, la cual fue localizada el 4 de agosto de 1947 a 1.5 m de profundidad, a propósito de la remodelación del templo (Neira 2010). En el contexto de la historia reconocida de la ciudad, no existe identificación previa de dicho bien. A partir de su hallazgo, y conforme reza la propia inscripción presente en una de sus caras laterales, se sabe que, el 3 de mayo de 1557, a veinte y un días de la fundación española de la Santa Ana de los Ríos de Cuenca, se colocó dicho elemento para marcar el sitio e inicio de la obra de construcción de la iglesia primigenia [Figura 1].



Figure 1.- Piedra fundacional de la iglesia de San Blas en una postal histórica con base en una fotografía de Manuel J. Serrano (1947). Fuente: Archivo Histórico Fotográfico, Biblioteca Víctor Manuel Albornoz, Museo Pumapungo, Ministerio de Cultura y Patrimonio (Cod. 4252).

Los estudios acotados enmarcan las investigaciones predominantes sobre el bien patrimonial, el edificio que lo contiene y su contexto. Esto permite acotar la relevancia de estudios más amplios a nivel técnico. Asimismo, dejan ver que, la propia entidad patrimonial constituye la única e idónea fuente de información para generar conocimiento al respecto, trascendiendo su propia individualidad. Esta situación se ha dado en otros casos a nivel mundial como las investigaciones de Payne (2013) y Bossema et al. (2020) al aplicar técnicas no destructivas y mínimamente invasivas para la caracterización de objetos patrimoniales; la investigación sobre una tabla de momia egipcia de madera realizada por Longo *et al.* (2018); el estudio de Romero *et al.* (2021) sobre la obra pictórica de Miguel de Santiago, o la de Miquel-González *et al.* (2016) al respecto de la caracterización de rocas sello y reservorio de yacimiento petroleros, coinciden en cuanto al uso de este tipo de técnicas, las cuales permiten mantener la integridad de bien y obtener resultados confiables.

Finalmente, ante esta situación, en este estudio se decidió recurrir a la aplicación de varias técnicas no invasivas de bajo impacto para caracterizar la piedra fundacional de la Iglesia de San Blas. De esta manera se definió un plan de ensayos en sintonía con la esfera conservacionista mundial conformado por la combinación de la Fotogrametría tridimensional, la Tomografía Computarizada Multicorte (TCM), la Petrografía mediante lámina delgada, la Microdifracción de Rayos X (DRX) y la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). El planteamiento metodológico interdisciplinario trazó una ruta no convencional a nivel ecuatoriano desde la cual ha sido posible sacar a la luz particulares intrínsecos de un bien patrimonial de alto valor y trascendencia local.

Antecedentes

—Contexto histórico

La piedra fundacional de la iglesia de San Blas constituye uno de los hitos históricos más relevantes de la ciudad de Cuenca [Figura 2]. Este territorio fue poblado durante el período de integración por los cañaris aquel que actualmente corresponde a la urbe del grupo étnico Cañari, cuya confederación comprendía lo que se conoce como las provincias de Azuay y Cañar ubicadas en la sierra sur o Austro del Ecuador. Durante el período de Integración (500 d.C. - 1500 d.C.), los cañaris conformaron una estructurada jefatura regional, exhibiendo una clara estratificación social con organización política marcada; esto posiblemente ejerció su influencia hasta las tierras bajas de la Amazonía y la Costa (Marcos 1982).

A mediados del siglo XV, el Imperio Inca domina estos territorios y con el tiempo se establece el mayor centro religioso y administrativo de la región (Cordero 2012) conocida como Tomebamba. Este proceso se vería truncado por la conquista española a partir de la década de 1540 cuando una creciente población española empezó a residir en el área (Jamieson 2003). En el año de 1557 se funda la ciudad de Cuenca con dos zonas estratificadas: por un lado, la plaza central y manzanas adyacentes, destinadas al asentamiento de españoles; y, por otro lado, los extremos Oriental y Occidental destinados a la población indígena, conformándose las parroquias de San Blas (este) y San Sebastián (oeste) [Figura 2]. El sector español guardaba los elementos de la administración política, religiosa, militar y civil, mientras que los dos “barrios o parroquias de indios” se convertían en el soporte para los servicios de la élite colonial (Pesántez 2001; Idrovo 2012).

Los registros documentales ubican la fundación de las iglesias de San Sebastián y San Blas en la década de 1570. Ambas se emplazaron sobre sitios prehispánicos de significación religiosa (Chacón 1990; Jamieson 2003). No obstante, la piedra fundacional de la “ermita de San Blas, localizada el 4 de agosto de 1947, reveló que, en el año de 1557 se ordenó su edificación (Neira 2010). Este hallazgo la convierte en una de las iglesias más tempranas de la

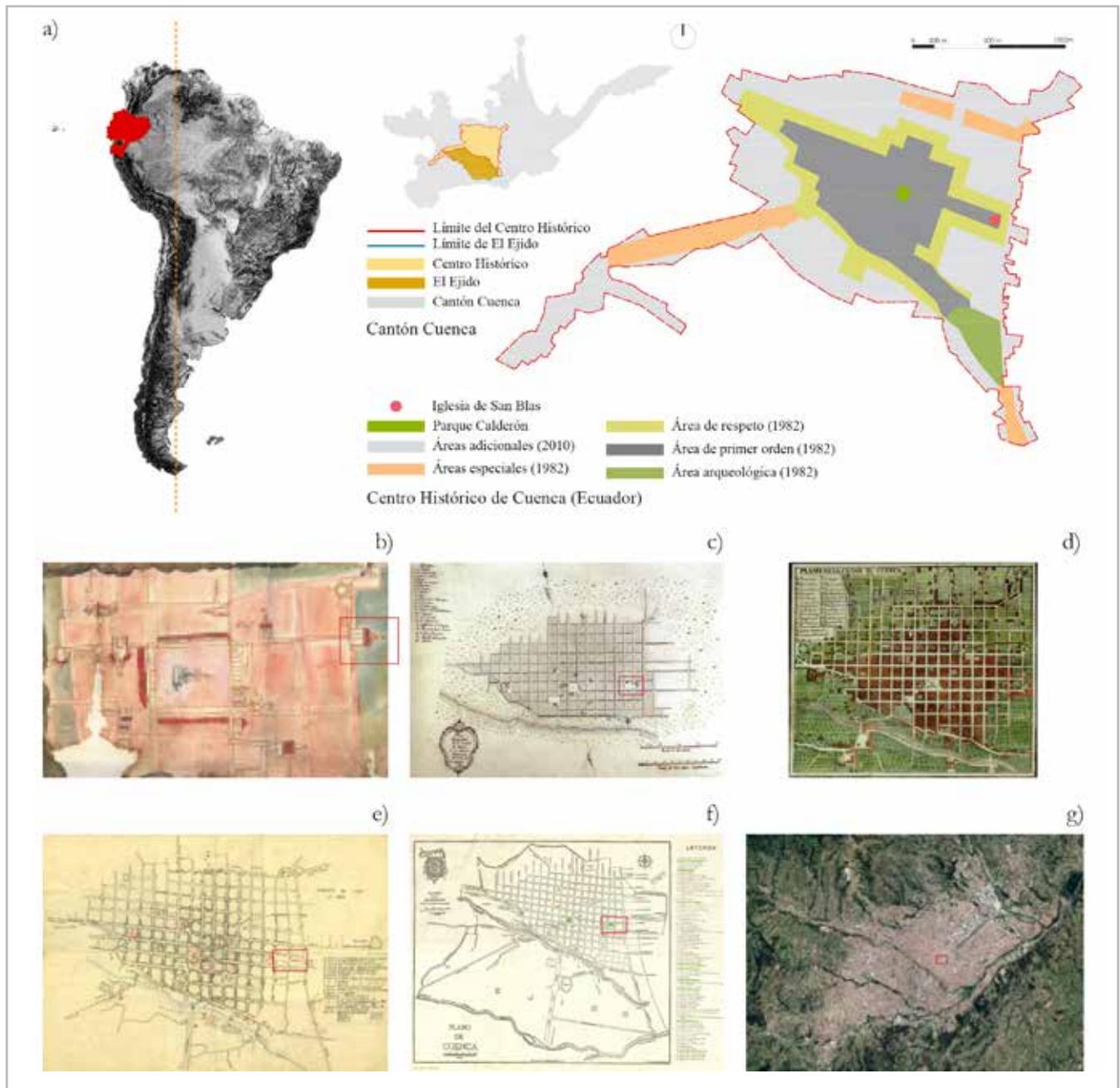


Figure 2.- Ubicación y contexto físico y temporal. a) Macro y micro localización del sitio de emplazamiento de la iglesia de San Blas. b) Plano del 9 de diciembre 1792, sin título y autor. Fuente: Mapoteca del Archivo Nacional de Historia de Quito. c) Plano Topográfico de la ciudad de Cuenca, en la América Meridional hacia 1816. d) Plano de la ciudad de Cuenca hacia 1878. e) Plano de Cuenca de 1910 a 1930. f) Plano de la ciudad de Cuenca hacia 1947. Fuente: Albornoz 2007. g) Vista aérea actual. Fuente: Google Earth. Elaboración: Autores.

ciudad. La inscripción, de este elemento hace referencia a Juan Muñoz Galán [Figura 1], fundador de dicha iglesia, quien ostentó varios cargos como Procurador, Vicario, Juez Eclesiástico, Comisario subdelegado de la Santa Cruzada, Visitador General y cura beneficiado de la parroquia de San Blas (Vargas & Vázquez 2019).

Durante esta época, y buena parte de la republicana, la organización social tenía una fuerte influencia religiosa. Si bien la urbe correspondía a una sociedad desigual, con clases sociales demarcadas por aspectos raciales (Mancero 2012), el espacio público aparecía como un entorno abierto,

de libre acceso y principalmente peatonal, que era ocupado por usos populares de manera sostenida (Cedillo-Mendoza *et al.* 2021).

El auge agro-exportador de la década de 1940 transformó la ciudad de manera sistemática. La influencia del Neoclásico francés cambia significativamente la fisonomía urbano-arquitectónica. La Iglesia de San Blas, no es ajena, ya que de esta época procede su imagen actual, así como la de la plaza. Los dos bienes están localizados en el área de Primer Orden del Centro Histórico de la Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad (1999) y conjuntamente con la Iglesia de

El Sagrario y la Iglesia de San Sebastián, definen el máximo crecimiento urbano de la ciudad entre los siglos XVI y XIX (Carpio 1979). Este proceso ha provocado el cambio progresivo en los sistemas constructivos, reduciendo las prácticas vernáculas (Torres-Quezada *et al.* 2022) y la promoción de la modernización. Pese a estos particulares, el edificio y la piedra fundacional tuvieron poca significancia, y la Plaza, que a pesar del descuido y precariedad en el cual se vio inmersa por varios años (Guerra & Román 2004), a partir del año 2007 se intervino y dio mantenimiento al mobiliario y arbolado (Farfán 2008), cambiando de manera significativa la imagen y sentido de empoderamiento ciudadano.

— Contexto geológico

Desde su génesis, diferentes pueblos han utilizado los materiales que la naturaleza ofrece por sus características físicas y abundancia, los cuales han contribuido al desarrollo de diferentes tipos de asentamientos y tipos arquitectónicos (Lambourn 2006; Zeren & Karaman 2015; Muiños Barros 2019), y con el tiempo, se han constituido en parte de la historia (Naoom & Mohammad 2022) e identidad, es decir, el uso, conservación y evolución de los materiales denota su trascendencia (Aguirre Ullauri 2021), al punto de que se puede representar la historia de la arquitectura a través de la historia de los materiales (Yahya & Abdul Saamad 2014). Entre ellos, la piedra como material duradero, ha sido ampliamente utilizada, pero también es propensa a diferentes tipos de deterioro según las condiciones climáticas, propiedades petrofísicas (Salvatici *et al.* 2020), formas de uso, e incluso intervenciones.

El territorio de Cuenca y sus características evidencian presencia de diversas rocas naturales ampliamente utilizadas en la arquitectura e infraestructura civil, desde tiempo prehispánico (Idrovo 1993; 1998; 2000). Entre ellas, predominan varias; las areniscas (Unidad Azogues) [Figura 3c (5)] y lutitas (Unidades Loyola, Biblián y Mangan) [Figura 3c (3), (5) y (6)] utilizadas por su abundancia y factibilidad de explotación, además, algunas rocas ígneas como la andesita, factibles de obtener en los primeros metros del subsuelo y son cotizadas por su resistencia. Esta, y su diversidad (básicas, turbídicas, finas, tobáceas y volcánicas) se localiza en las formaciones Plancharumi, Río Blanco y Ocaña, pertenecientes a los grupos Saraguro y Angamarca del periodo Terciario (Ministerio de Minas y Petróleos 2009) [Figura 3c (7)]. Otras rocas de relevancia son los travertinos cuyo uso en la arquitectura decimonónica ha apoyado la definición del actual paisaje urbano histórico de Cuenca, así como de los determinantes normativos de actuación en dicho espacio histórico.

Núñez del Arco (2003) establece que, las provincias del Azuay y Cañar forman parte de una depresión interandina de aproximadamente 100 km de longitud en el sentido norte-sur y aproximadamente 25 km en sentido este-oeste. En esta alargada región se encuentra la ciudad de Cuenca y el CH, los cuales se conforman por sedimentos detríticos

pertenecientes al Terciario Superior que se van intercalando con litología de orígenes volcánicos, principalmente arenas finas con limos. Además, el basamento rocoso de la ciudad pertenece al cretácico, y las formaciones Piñón y Yunguilla lo caracterizan [Figura 3c (10)]. La primera correspondiente a rocas de origen volcánico, clasificando la roca como andesítica, expone una coloración verdosa y está continuamente intercalan con tobas. Sobre ella, yace la formación Yunguilla, de origen marino, caracterizada por material sedimentario que aflora por más de 80 Km desde Cumbe hasta Cañar (Bristow 1973) [Figura 3c (10)]. Se caracteriza por la presencia de argilitas de coloración grisácea oscura a negra, estratos bien definidos que tienden a comportarse como lutitas negras. Estas lutitas pueden contener micas al igual que piritas en pequeños porcentajes. También es factible identificar la formación Saraguro proveniente del cenozoico, la cual se superpone a las dos formaciones continentales, formando parte del basamento rocoso de origen volcánico rico en lavas andesíticas y piroclásticas [Figura 3].

A partir del Mioceno inferior - medio, aparecen formaciones cuyas génesis son sedimentarias [Figura 3b y 3c]. La Formación Biblián pertenece a la formación Terciaria, más antigua y es discordante sobre la formación Yunguilla [Figura 3c (10)], su litología varía desde clastos gruesos redondeados hasta presencia de yeso como se observa en las comunidades de El Valle, Paccha y Ayancay; de igual forma, en su componente litológico se pueden observar bancos de areniscas de color café claro que alternan con lutitas y limolitas arenosas. Por su parte, también se evidencia la formación Loyola, perteneciente al Mioceno inferior - medio sobre la formación Biblián [Figura 3c (5)]. Está conformada por lutitas fácilmente disgregables de coloración grisácea a café clara, tienen abundancia de yeso y expone alta incompetencia, es decir, se trata de una formación poco consolidada, con baja capacidad resistente (Vergara & Verdugo 2017; Rivera 2018), inestables por diferentes factores como el agua (Erazo 1957), por lo que pueden cambiar de estado sólido a plástico, e incluso líquido debido al componente arcilloso-limoso. En general, es una formación considerada inestable siendo una de las que involucran la mayor cantidad de movimientos de masas en la ciudad al igual que en los territorios cercanos (Hungerbühler *et al.* 2001).

La formación Azogues, reconocida en la ciudad del mismo nombre, tiene su presencia desde Biblián hasta Cuenca, su génesis se asocia al Mioceno medio [Figura 3c (5)]; presenta constante intercalación con la formación Loyola y su litología característica corresponde a arenas tobáceas intemperizadas cuya coloración es café amarillento; el tamaño de los granos varía de medio a grueso en las capas de limos, arcillas y lutitas. Asimismo, la formación Mangan es subsecuente a la formación Azogues y puede presentarse intercalando a otras formaciones del Mioceno medio - inferior [Figura 3c (4)]. Su componente litológico es variado; presenta materiales sedimentarios en estratos de limolitas, lutitas, arcillas y areniscas finas. Este particular

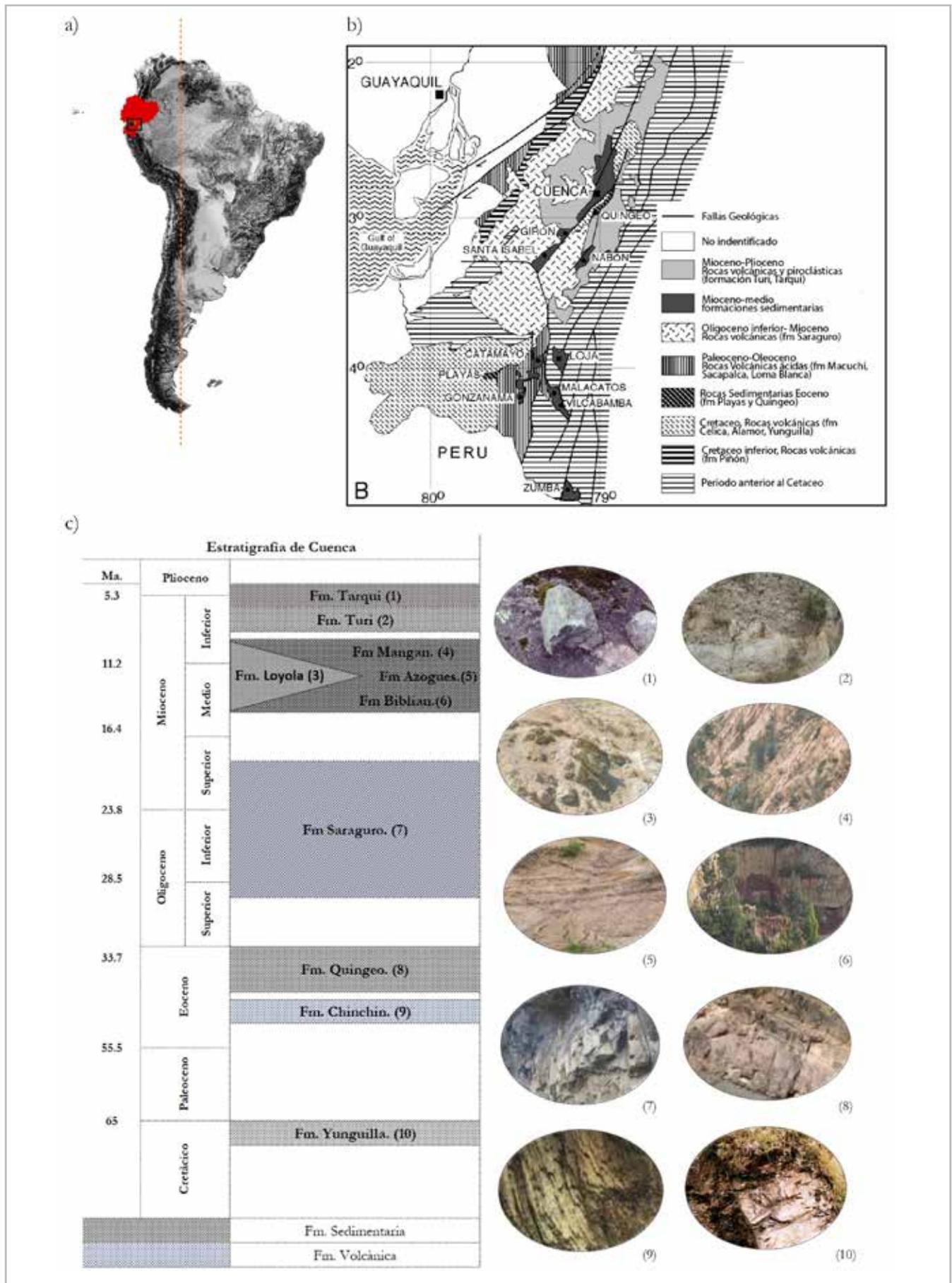


Figure 3.- Contexto geológico. a) Ubicación geográfica y marco sectorial. b) Mapa geológico sectorial. c) Corte estratigráfico de Cuenca. Fuente: Hungerbühler, 2001. Elaboración: Autores.

puede generar confusiones con las formaciones Azogues o Loyola. Las areniscas de esta formación son gruesas y tienden a volverse conglomerados en las capas superiores. Esta formación también se caracteriza por la presencia de bentonita en los límites del Azuay y Cañar (Nuñez del Arco 2003).

En sectores más próximos al CH se encuentra la formación Santa Rosa propia del Plesistoceno; es visible desde el sector de Miraflores hasta la zona de Sinincay. Su litología sedimentaria se caracteriza por areniscas conglomeráticas que se alternan con lutitas rojas, limolitas y arcillas. Los clastos son gruesos y tienen forma de lentes. A proximidad semejante, pero más joven, se encuentra la formación Turi, localizada en la zona del mismo nombre [Figura 3c (1)]. Esta se caracteriza por una variada litología; la parte inferior expone un conglomerado basal desarrollado el cual está conformado por cantos redondeados cuyo tamaño no es superior a los 10 cm; también presenta intercalaciones de arcillas, areniscas fluviales, tobas, cenizas y brechas volcánicas (Erazo 1957).

De otro lado, en la cabeza del perfil estratigráfico de Cuenca, es decir, próximo a Turi, se localiza la formación Tarqui la cual se le atribuye al Pleistoceno Superior [Figura 3c (2)]; su componente litológico es de origen volcánico, piroclastos, tobas y aglomerados riolíticos o andesíticos. Finalmente, depósitos recientes son encontrados en diferentes zonas de la cuenca de Cuenca, principalmente aluviales, coluviales y lacustres (Erazo 1957).

— Contexto arquitectónico: la iglesia de San Blas

El bien inmueble como tal describe al menos dos momentos edificatorios. Ambos se localizan en el mismo predio, pero incluye variaciones significativas. Se sabe que el edificio primigenio, al cual además se asocia la piedra fundacional, se remonta al último tercio del siglo XVI, y estuvo construido en tierra, paja, cal y piedras de Pumapungo (Neira 2010),

mientras el segundo se erige con materiales como el ladrillo, el canto rodado y el travertino. Entre la segunda década del siglo XIX y la primera mitad del XX, la modestia del primer edificio supuso una necesidad de reforma. De esta manera se promueve la ejecución de la obra del edificio actual [Figura 4].

El 3 de noviembre de 1938, siendo párroco el Canónigo Luis A. Sarmiento Abad se inició el proceso de reconstrucción de la iglesia colonial. Hacia 1939 se coloca la primera piedra en la cúpula, 6 años más tarde se inicia la construcción del altar mayor (Maldonado & Maldonado 2013) y para el 4 de agosto de 1947 se inició el proceso de remoción de los cimientos del templo (Neira 2010). Este particular coincide con el hallazgo del monolito de piedra, pero, además, evidencia en términos históricos el largo proceso de intervención en el inmueble. Hoy, esta edificación presenta desarrollo geométrico rectangular (50 x 21,65m), muestra un frontis notable, su altar mayor es de mármol blanco con fondo rosado, alberga varios nichos dedicados a diversas advocaciones (Sagrado Corazón de Jesús, Santísima Virgen del Remedio, San Blas y otros), cuadros, ornamentos y otros bienes artísticos. Se edifica enteramente en travertino local de la mano del maestro José María Déleg y su hijo (Neira 2010) e incluye 3 puertas de madera labradas y varios motivos ornamentales complementarios. También se sabe que varias obras quedaron inconclusas o se descartaron por motivos técnicos y económicos, aun así, hacia 1976 se dio por terminada la construcción mediante la inclusión de la puerta de la nave lateral Sur (Neira 2010), la terminación del frontis y el campanario (Maldonado & Maldonado 2013).

En la década de los 90s se cambia el cielo raso de las naves laterales de madera por yeso (Maldonado & Maldonado 2013), y 20 años después, se inician los estudios de conservación, que, mediante convenio interinstitucional entre la Comunidad Pastoral y la administración pública, retoman las obras en el año 2017, con la finalidad de mejorar sus condiciones de conservación a partir del proyecto de

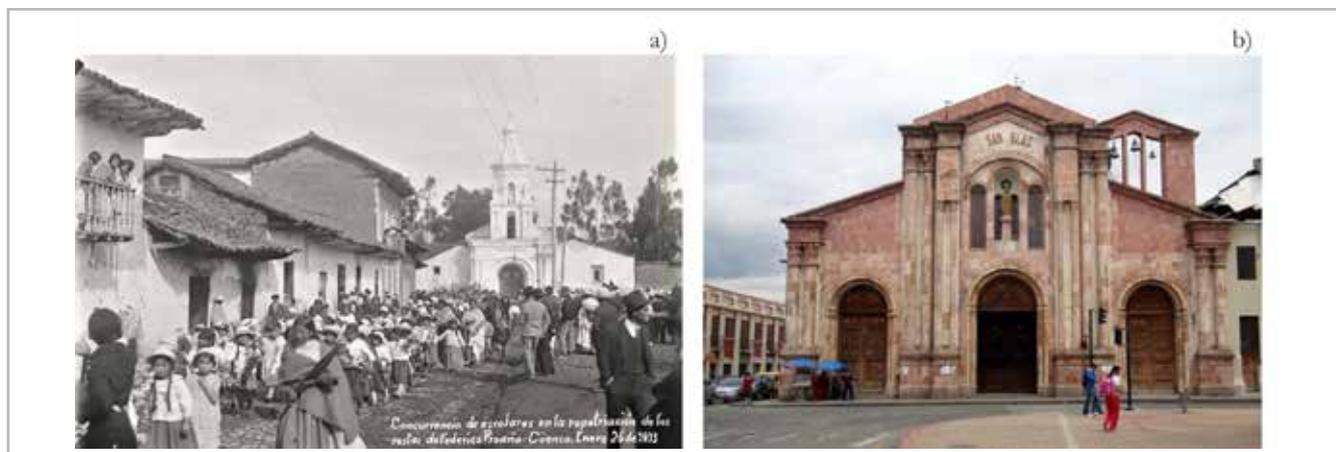


Figure 4.- La Iglesia de San Blas en el tiempo. a) Fotografía durante la repatriación de los restos de Federico Proaño. Cuenca 1933. Fuente: Fondo Nacional de Fotografía. Colección Manuel J. Serrano, Cod. 13603. b) Fotografía del año 2016, posterior a las reformas de 1947 y previo a la intervención del 2017. Fuente: Aguirre Ullauri 2016.

conservación y restauración arquitectónica del año 2013 (Maldonado & Maldonado 2013).

Finalmente, conviene indicar que, los estudios arqueológicos realizados en el año 2012 en las inmediaciones de la actual iglesia desvelaron la existencia de otros bienes patrimoniales de interés. Tal es el caso de contextos funerarios primarios y secundarios asociados a cajas de madera y latón, como una suerte de ataúdes en los que se recuperaron osamentas de infantes. El formato funerario sugiere una temporalidad que fluctúa entre la colonia tardía y el periodo republicano. No obstante, uno de los hallazgos más prominentes consiste en una envoltura textil, a manera de un bolso tipo shigra, que contenía hojas de coca u otro vegetal que liga a posibles prácticas funerarias netamente prehispánicas (Idrovo 2012). El material cultural cerámico data desde el periodo de Integración (500 d.C. – 1500 d.C.) hasta la época republicana, aspecto que refuerza la hipótesis de que, la ermita de San Blas se erigió sobre un espacio religioso sepulcral prehispánico que continuó con esa tradición por lo menos hasta finales del siglo XVIII con los preceptos del catolicismo. En este marco también se confirmó la existencia de pocos sillares de factura Inca en los muros del transepto y la nave lateral norte, en contraposición con la descripción de Terán Zenteno (1947).

Metodología

El proceso investigativo se compone de cuatro etapas que priorizan los procedimientos y herramientas no invasivas o de mínimo impacto, así como el diálogo transversal entre ellas a lo largo del proceso. La primera etapa se determina a partir del análisis bibliográfico como base de la contextualización del objeto de estudio. En complemento, la segunda etapa incluye la documentación de alta precisión a partir de la fotogrametría tridimensional del bien patrimonial. Asimismo, la tercera etapa incluye un proceso de caracterización del material constitutivo del objeto a partir de: 1) el examen organoléptico, 2) la tomografía computarizada multicorte (TCM), 3) la difracción de rayos X (DRX), 4) el análisis petrográfico mediante lámina delgada y, 5) la microscopía electrónica de barrido (SEM). Finalmente, en la cuarta etapa de la investigación, se establecen proyecciones sobre la conservación del objeto patrimonial, con el objetivo de evidenciar el análisis de la información disponible (Tena 2019).

a) Etapa 1: contextualización

Esta investigación comprende el análisis bibliográfico de fuentes secundarias preexistentes sobre la Iglesia de San Blas, generadas a propósito de los procesos de remodelación (1947) y conservación (2016). Los datos recopilados son de carácter histórico y arqueológico, mismos que engloban una serie de reportes e investigaciones realizadas a lo largo del siglo XX e inicios del XXI, los cuales orientan la importancia del objeto (Tena 2019). Destacan notablemente los aportes

de Uhle (1923) sobre la arqueología del austro ecuatoriano y la ciudad de Tomebamba; Jamieson (2003) en cuanto a la arqueología colonial andina a partir del caso de Cuenca, e Idrovo (2008 hasta 2012) sobre las excavaciones arqueológicas efectuadas al interior de la iglesia de San Blas y otras realizadas en el marco de actividad de la Unidad de Arqueología Urbana. Del mismo modo, se han considerado las investigaciones de otros autores relevantes para el contexto local, como Chacón (1990), Neira (2010), Cordero Íñiguez (2012) y Vargas & Vázquez (2019).

Para complementar este marco histórico, se consultó el Expediente de Visita de la Parroquia de San Blas del año 1862 procedente del Archivo de la Curia Arquidiocesana de Cuenca, en el cual se reporta sistemáticamente y a través de múltiples visitas, el conjunto de bienes muebles y otros artefactos a lo largo del siglo XIX, es decir, su utilidad se enmarca en procesos previos de identificación de la piedra fundacional.

b) Etapa 2: documentación fotogramétrica

La fotogrametría posibilita la generación de un modelo tridimensional a través de un proceso de yuxtaposición fotográfica interpretado mediante un software especializado. Para el presente estudio se ha utilizado el software *Agisoft Metashape Standar*, el cual desarrolla una serie de algoritmos que se traducen en forma, dimensiones y posición espacial del objeto.

La obtención del modelo fotogramétrico requirió de tres subetapas: 1) toma de datos, 2) procesamiento y 3) post-procesamiento. La primera subetapa hace referencia a la captura de fotografías del bien mediante el uso de una cámara Olympus VH-520; resulta ser la fase más importante a la hora de realizar un levantamiento, ya que, de ella dependerá que el resto de subetapas culminen satisfactoriamente. Además, cuando se trata de bienes patrimoniales existen limitaciones (la iluminación, la manipulación del objeto, el fondo, entre otras) que difícilmente pueden ser controladas. En este caso de estudio el peso, tamaño y ubicación del elemento condicionó la captura de imágenes. A pesar de esto, se logró una captura sistemática de 31 fotografías con un traslape mayor al 60% entre ellas, lo cual, a su vez, posibilitó la orientación completa.

La segunda subetapa consiste en el procesamiento de la información obtenida en la toma de datos a través del software *Agisoft Metashape Standar*. Mediante el flujo de trabajo se obtuvo una nube de puntos densa, una malla y textura [Figura 5], concretando así el modelo fotogramétrico [Figura 6] conforme parámetros específicos [Tabla 1]. La subetapa 3, de post procesado, se corresponde con el proceso de retopología y optimización del modelo con la finalidad de hacerlo más liviano, sin que ello implique la pérdida de calidad y geometría. A su vez, en esta fase se realiza el cierre de agujeros, mapeado UV, proyección de texturas y renderizados [Figura 6 y Figura 7].

Puntos de paso		Mapas de profundidad	Nube de puntos densa	
Puntos de paso	Parámetros de orientación	Parámetros de obtención de mapas de profundidad	Nube de puntos densa	Parámetros de obtención de mapas de profundidad
Puntos: 21,922 de 40,362	Precisión: Máxima	Mapas de profundidad: 31	Puntos: 4,415,180	Calidad: Alta
Puntos clave: No	Puntos clave por foto: 40,000	Calidad: Alta	Colores de puntos: 3 bandas, uint8	Nivel de filtrado: Moderado
Multiplicidad media de puntos de paso: 2.66506	Puntos de paso por foto: 4,000	Nivel de filtrado: Moderado		
Modelo 3d				
Parámetros de generación de la nube densa	Modelo	Parámetros de obtención de mapas de profundidad	Parámetros de reconstrucción	Parámetros de texturizado
Versión del programa: 1.7.1.11797	Caras: 580,569	Calidad: Alta	Tipo de superficie: Arbitrario	Modo de mapeado: Genérico
	Vértices: 290,685	Nivel de filtrado: Moderado	Origen de datos: Mapas de profundidad	Modo de mezcla: Mosaico
	Textura: 4,096 x 4,096 x 4, 4 bandas, uint8	Colores de vértices: 3 bandas, uint8	Interpolación: Habilitada	Habilitar el filtro de efecto fantasma: Sí

Tabla 1.-Parámetros de procesamiento digital. Fuente y elaboración: Autores

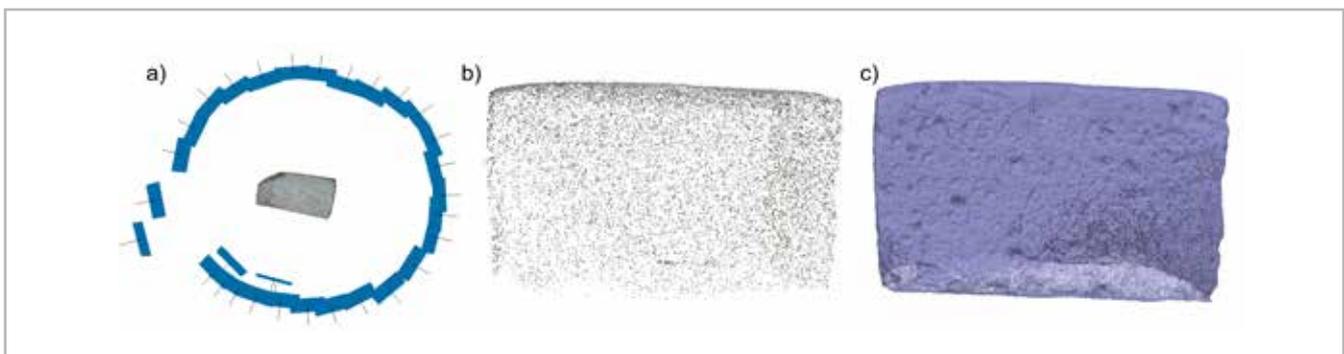


Figure 5.-Procesamiento. a) Orientación de cámaras. b) Nube de puntos. c) Modelo de malla de alambre. Fuente y elaboración: Autores.



Figure 6.- Modelo fotogramétrico. Fuente y elaboración: Autores.

c) Etapa 3: caracterización

El conjunto de técnicas que definen el plan de ensayos busca describir el material y su estado actual, incluyendo posibles modificaciones (Tena 2019). Por ello, la caracterización prioriza la aplicación de técnicas no destructivas de actualidad, aunque no limita la aplicación de las más convencionales como complemento. Al igual que la Etapa 2 se compone de 4 subetapas. La primera hace referencia al examen organoléptico. Según Sandstrom (1991) y Esbert *et al.* (1990), el conocimiento del material inicia en el

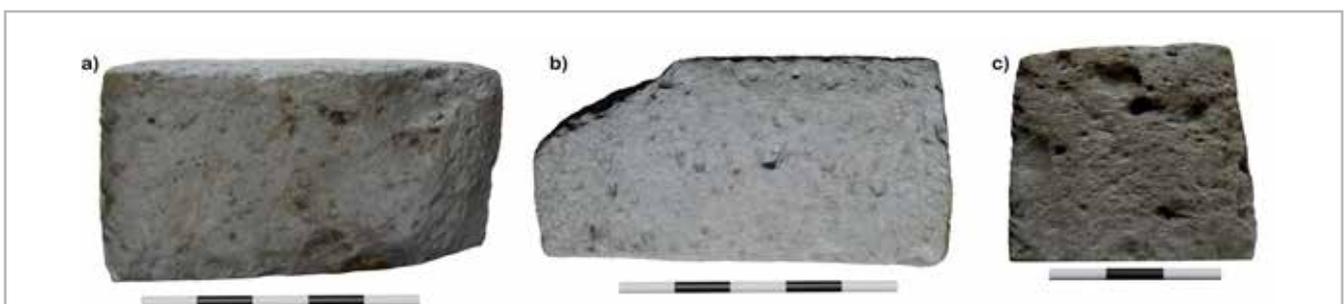


Figure 7.- Modelo Fotogramétrico. a) Vista posterior. b) Vista superior. c) Vista lateral. Fuente y elaboración: Autores

análisis visual *in situ*. No obstante, debido a las limitaciones para el acceso a herramientas como la escala CieLab o la paleta Munsell, el reconocimiento de color y rugosidad se realiza a simple vista. El mismo proceso se considera para la determinación de características superficiales como la untuosidad, el tono o la textura.

La segunda subetapa está asociada a la tomografía computarizada clínica basada en tecnología multicorte (TCM). Se sabe que durante años ha sido utilizada en el ámbito médico (Longo *et al.* 2019), no obstante, por sus características no invasivas ni destructivas también se ha aplicado con éxito al estudio de los artefactos del patrimonio cultural (Parisi *et al.* 2016), así como para la localización de estructuras significativas localizadas hacia el interior del bien en estudio (Longo *et al.* 2019; Bossema *et al.* 2021).

De manera particular, en el presente trabajo se realizó una TCM de tipo médico con la finalidad de describir la estructura interna de la piedra fundacional. Se escaneó dicho monolito utilizando un equipo Aquilion Lightning de 16 cortes por rotación de 0.75seg a 360 grados, rango escalar -2048 a 436 y detector de 800 canales x 16 filas. No se utilizaron "fantasmas" (Ortiz Meneses *et al.* 2015) ya que al tratarse de un bien patrimonial la incertidumbre de alguna situación adversa debía limitarse. Las imágenes se analizan mediante el *software 3DSlicer 4.11*, el cual se distribuye bajo una licencia de código abierto de tipo BSD ampliamente compatible con *Open Source Definition of The Open Source Initiative* (Slicer Community 2020), además, proporciona funcionalidades avanzadas como la segmentación y el registro automatizado para una variedad de dominios de aplicación (Fedorov *et al.* 2012). Como complemento se usa el *software Image J*, el cual incluye prestaciones semejantes.

Posterior al análisis de imagenología se valoró los hallazgos de cara al reporte histórico de las condiciones de conservación, pero también desde los insumos fotogramétricos generados.

La tercera subetapa se basa en la DRX, concretamente una microdifracción, para determinar la composición mineralógica. La muestra de 2,88gr, es decir, el micro segmento de la piedra natural fue colocado en el equipo Bruker Advance D8 utilizando un portaobjetos de bajo fondo de cristal de silicio Bruker AXS Si Einkristall. No se requirió triturar u orientar la muestra, y se corrió bajo las condiciones: voltaje 35 KV, *current* 35 mA, *steps* 0,6 s, *2theta* desde 5° C hasta 70° C. A su vez, el software de identificación y cuantificación de las fases cristalinas fue el Topas, versión 4.2.

La cuarta subetapa se asocia al análisis petrográfico. La preparación de la lámina delgada se realizó previa identificación de la muestra para proceder con el corte, toma de la esquirla y pulido utilizando carburo de silicio desde el No. 240 hasta el No. 1000. En adelante, con el montaje de la muestra se procede con; 1) desbaste hasta 1mm, 2) pulido con los abrasivos ya utilizados, 3) pulido final

para determinar un acabado de 0,0003 micras y, 4) montaje de cubreobjeto usando bálsamo de Canadá. El análisis se realiza a partir de un microscopio petrográfico de luz polarizada, luz natural y birrefringencia de segundo orden; para la definición petrográfica se usa la Norma EN 12670 y para la determinación del tipo y denominación de roca se recurre a las normas UNE 12670 y UNE 12440.

Finalmente, también se realiza la cuantificación de química elemental mediante un microscopio electrónico de barrido JEOL IT 300 acoplado a un detector de dispersión de energía de rayos X Oxford X-MAX 20 (SEM-EDS). Las condiciones analíticas fueron: tensión de aceleración de 20kV, corriente del haz de 25 mA, vacío de 40 Pa y distancia de trabajo de 10mm.

d) Etapa 4: conservación

Se aspira definir un marco de acción desde la conservación preventiva, aunque no se descarta la identificación de lesiones, la valoración y la evaluación de los riesgos de deterioro (Norma UNE 41810), ya sea asociados a la manipulación o exposición. Para este fin se recurre a la estructura analítica propuesta por el IPCE (2019). A detalle se incluyen los siguientes procesos:

1. Valoración de las afecciones desde la relación gravedad-probabilidad de deterioro [Tabla 2] mediante:

- Escala de estimación de la gravedad del deterioro entre leve, grave y muy grave.
- Escala de estimación de la probabilidad de deterioro entre baja, media y alta
- Rango de cuantificación para la relación gravedad probabilidad del deterioro entre Leve-baja (1punto), Leve-media (2puntos), Leve-alta (3puntos), Grave-alta (4puntos), Muy grave-baja (3puntos), Muy grave-media (4puntos) y Muy grave-alta (5puntos).

2. Priorización de afecciones mediante la determinación de su magnitud, según:

- Rangos de priorización de las afecciones entre poco importante o prioridad mínima (relación gravedad – probabilidad leve-baja, 1punto), moderado o prioridad baja (relación gravedad – probabilidad leve-media y grave-baja, 2puntos), medio o prioridad media (relación gravedad – probabilidad leve-alta, grave-media y muy grave-baja 3puntos), elevado o prioridad alta (relación gravedad – probabilidad leve-alta, grave-media y muy grave-media, 4puntos), y muy importante o prioridad máxima (relación gravedad – probabilidad muy grave-alta, 5puntos).
- Priorización si, existen puntajes iguales o mayores a 3puntos, y si, se comprueban los siguientes niveles de gravedad-probabilidad / magnitud de priorización: 1) grave-media / prioridad media, 2) grave-alta / prioridad alta, 3) muy grave-baja o prioridad media, 4) muy grave-

Probabilidad del deterioro	Gravedad del deterioro			
	Nivel	Leve	Grave	Muy Grave
	Baja	1	2	3
	Media	2	3	4
Alta	3	4	5	

Magnitud de priorización (definida por la relación gravedad – probabilidad)				
Poco importante o probabilidad mínima	Moderado o prioridad baja	Medio o prioridad media	Elevado o prioridad alta	Muy importante o prioridad máxima
1	2	3	4	5

Tabla 2.- Sistema de valoración para las afecciones. Fuente: IPCE 2019. Elaboración: Autores.

media o prioridad alta, y 5) muy grave-alta o prioridad máxima.

3. Análisis y catalogación de las afecciones priorizadas a partir de la Matriz de Análisis de Riesgos establecida por Mora Horta (2016). Esto permite catalogar las afecciones en los tipos de procedimientos y protocolos de actuación, es decir; 1) seguimiento y control, 2) mantenimiento periódico, y 3) gestión [Tabla 3]. A detalle se procede con:

a. Análisis cualitativo y cuantitativo de las afecciones priorizadas mediante el producto entre probabilidad e impacto ($P * I$) a fin de determinar rangos de probabilidad para:

- i. Las afecciones; 1) probabilidad baja o improbable (1punto), 2) probabilidad media o de ocurrencia ocasional (2puntos), y 3) probabilidad alta o de ocurrencia frecuente (3puntos).
- ii. El impacto de las afecciones; 1) impacto bajo, leve o superficial en la condición física (5puntos),

2) impacto medio o de problemas y pérdidas significativas e impacto moderado en la condición física (10puntos), y 3) impacto alto o de colapso e impacto crítico en la condición física (20puntos).

b. Catalogación de las afecciones mediante el producto entre probabilidad e impacto ($P * I$) a fin de determinar rangos de probabilidad para:

- i. Rangos de catalogación para las afecciones en niveles de riesgo; 1) aceptable, que demanda proteger, mitigar y prevenir mediante protocolos de gestión (5 – 10puntos), 2) moderado o que se debe controlar e inspeccionar para evitar el progreso mediante procedimientos de seguimiento y control (15 – 20puntos), y 3) de riesgo alto o que se debe eliminar la afección mediante protocolos de mantenimiento periódico (30 – 60puntos).

4. Definición de los procedimientos requeridos según el diagnóstico de estado de conservación a partir de la norma UNE 41810 y otras referencias teórico-prácticas.

PROBABILIDAD - P-		IMPACTO -I-		
		BAJO	MEDIO	ALTO
		5	10	20
3 ALTA	P alta (3) * I bajo (5) 15 puntos Nivel de riesgo moderado Procedimientos de seguimiento y control	P alta (3) * I medio (10) 30 puntos Nivel de riesgo alto Protocolos de mantenimiento periódico	P alta (3) * I medio (20) 60 puntos Nivel de riesgo alto Protocolos de mantenimiento periódico	
2 MEDIA	P media (2) * I bajo (5) 10 puntos Nivel de riesgo aceptable Protocolos de gestión	P media (2) * I bajo (10) 20 puntos Nivel de riesgo moderado Procedimientos de seguimiento y control	P alta (2) * I medio (20) 40 puntos Nivel de riesgo alto Protocolos de mantenimiento periódico	
1 BAJA	P baja (1) * I bajo (5) 5 puntos Nivel de riesgo aceptable Protocolos de gestión	P baja (1) * I medio (10) 10 puntos Nivel de riesgo aceptable Protocolos de gestión	P media (2) * I bajo (10) 20 puntos Nivel de riesgo moderado Procedimientos de seguimiento y control	

Tabla 3.- Sistema de valoración para las afecciones. Fuente: Mora Horta 2016. Elaboración: Autores.

Resultados y Discusión

A partir del examen organoléptico se determina que, la piedra natural de condición patrimonial no presenta untuosidad, tiene color amarillento en tono claro parcialmente brillante, también expone textura lisa y rugosidad media. Se presenta una pátina natural (Laborde 2013) producto de transformaciones cromáticas homogéneas del material (UNE 41810), más no de acciones de tratamiento. Este particular es visible incluso en segmentos perdidos del bien patrimonial, cuyo contexto de deterioro no ha sido posible determinar, aunque no se descarta que proceda de procesos acumulativos (Michalski & Pedersoli 2016) típicos de las labores de traslado (golpe y arrastre). Esta pérdida establece disminución de la integridad física del bien patrimonial en la época previa a 1947.

Por su parte, la TCM describe al bien como un elemento sin irregularidades que representan riesgo de destrucción, a pesar de haberse recuperado a 1,50 m de profundidad bajo el nivel del suelo transitable, y habiéndose custodiado de manera antitécnica desde entonces. Tampoco presenta afectaciones como fisuras, fracturas o irregularidades, más que las de su propia naturaleza geológica, es decir, la sección transversal y longitudinal únicamente reporta el sistema poroso vugular intragranular (grises oscuros) junto a una litología densa (grises claros) (Miquel-González *et al* 2017) no estratificada. Por lo tanto, se habla de un pétreo resistente [Figura 8] no sometido a variaciones significativas de humedad u oscilaciones térmicas (Esbert *et al.* 1990), así

como a pérdidas que demanden la reconstrucción virtual (Mena *et al.* 2020), como en otros casos.

A partir de la composición química elemental se define la presencia de magnesio (MgO), óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de silicio (SiO_2), dióxido de azufre (SO_2), óxido potásico (K_2O), óxido de calcio (CaO) y óxido de hierro (FeO) [Tabla 4]. Además, según la composición mineralógica se confirma que se trata de una roca carbonatada con presencia de magnesio, la cual incluye fases cristalinas de calcita ($CaCO_3$), dolomita ($CaMg (CO_3)_2$), enstatita ($MgSiO_3$) y cuarzo (SiO_2) [Tabla 5]. Asimismo, con base en las características petrográficas se sabe que, macroscópicamente se presenta como una roca blanca amarillenta de grano fino y baja porosidad, es decir, podría tratarse de una limolita procedente de la misma formación. A su vez, a nivel microscópico evidencia cemento carbonatado micrítico y textura constituida por fragmentos de tamaños variados y delgados bordes micríticos [Figura 9] acordes a una caliza. En oposición y según las descripciones geológicas vigentes, no podría tratarse de una Arenisca de Azogues (Wolf 1982; Erazo 1957), es decir, una arenisca fundamental, típica de color amarillo y visible en la formación Turi.

A partir del análisis petrográfico se determina que la distribución de clastos y la relación matriz/cemento ratifica al pétreo en la naturaleza carbonatada, de matriz fina y con presencia de bioclastos. A saber, incluye; 1) entre 20 y 25% de clastos de $CaCO_3$ con microcristales dispersos, ligeramente alargados, incoloros a la luz natural y relieve moderado (a veces cambiante). 2) entre el 5 y 10% de clastos

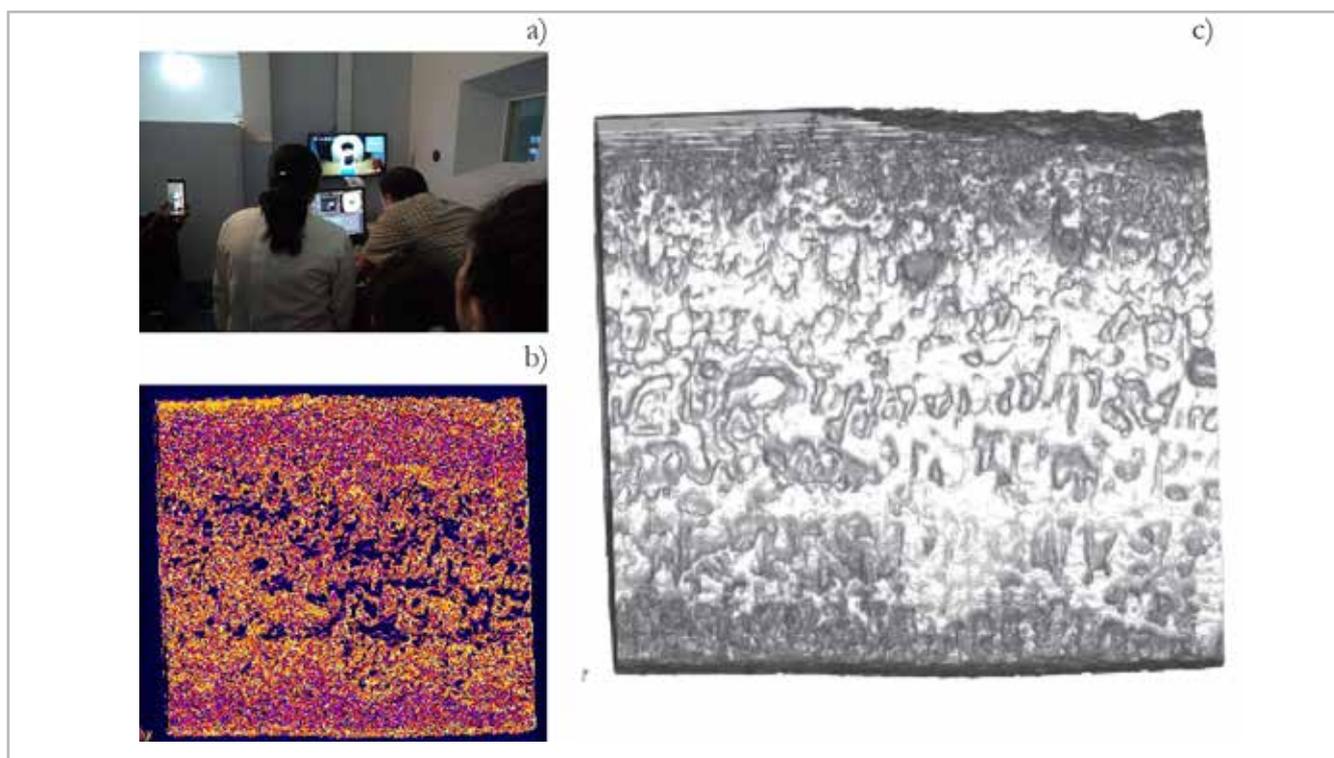


Figure 8.- Tomografía multicorte. a) Ejecución del examen, b) Vista transversal lateral con contraste, c) Vista transversal lateral en escala de grises. Fuente: *Aquilion Lightning* (Medimagen) 2017. Elaboración: Autores.

Composición química elemental (%)

Óxido de aluminio	Óxido de aluminio	Óxido de silicio	Dióxido de azufre	Óxido potásico	Óxido de calcio	Óxido de hierro
1,31	0,39	2,19	0,20	0,10	95,32	0.43

Tabla 4.- Detalle de la composición química elemental. Fuente y Elaboración: INPC, 2020.

Composición mineralógica (%)

Calcita	Enstatita	Dolomita	Cuarzo
41.55	9.19	48.59	0.68

Tabla 5.- Detalle de la composición mineralógica. Fuente y Elaboración: INPC, 2020.

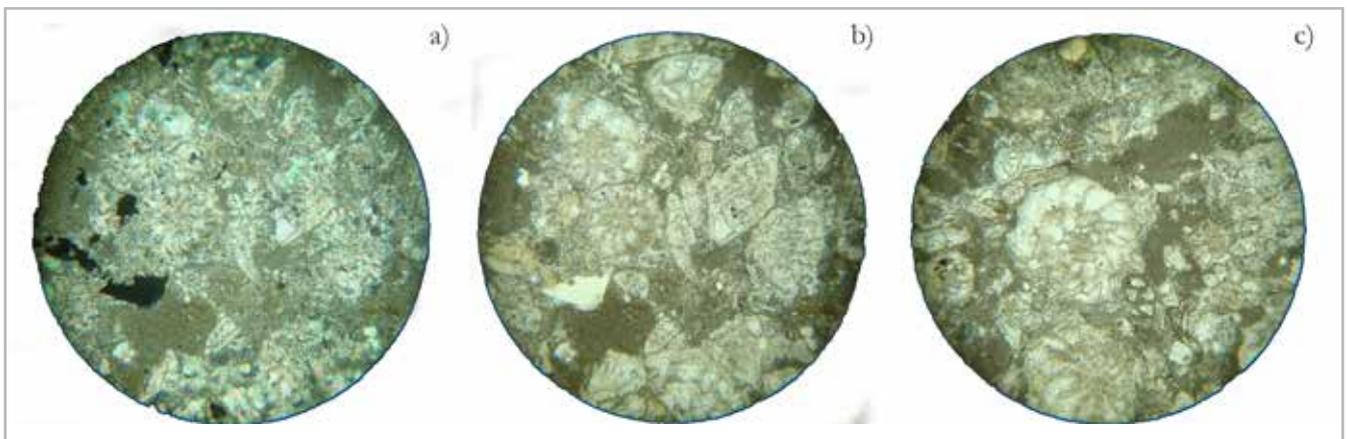


Figura 9.- Microfotografías. a) Imagen a luz polarizada e identificación de escasos clastos de tonalidad gris con rellenos de SiO₂, CaCO₃ y fósiles. b). Imagen a luz natural que con relieve cambiante muestra CaCO₃ y fósiles bien conservados. c) Imagen a 20 aumentos de un bioclasto desarrollado. Fuente y Elaboración: Autores.

angulosos de SiO₂/chert relleno espacios y otros sub redondeados. 3) entre el 14 y 55% de fósiles foraminíferos tipo lepidocyclina y discocyclina, además de bioclastos tipo algas y Fe₂O₃ como mineral de meteorización [Figura 9]. 4) entre 15 y 20% de carbonados. Y, 5) entre 1 y 3% de minerales de alteración. En consecuencia, esta roca, de componentes menores a 1mm e importante contenido fósil se denominaría como una roca bioclástica (UNE 12670) de tipo caliza, la cual no se corresponde con el perfil estratigráfico existente en el CH, en la ciudad o en las zonas aledañas. Dicha roca se asocia al Jurásico Inferior (Goy *et al.* 1976), y los afloramientos más cercanos se encuentran en la zona de El Descanso, a 30km aproximadamente. Según Jaillard *et al.* (2008), rocas calcáreas como la descrita son propias de Los Reales-Loma Nariquera Grande (Norte de Quito) o en las formaciones Jadán, Quimas y Tabacay. Boland *et al.* (2000) la asocia a un ambiente de abanico submarino específicamente en las partes más distales del abanico como en las Unidades Yunguilla y Azogues.

Según la norma UNE 12440, el bien mueble objeto de esta investigación es una roca caliza, caliza bioclástica, amarillo claro (2,5Y 9/2), Formación Loyola, El Descanso, Azuay, Ecuador.

En cuanto a la valoración y priorización [Tabla 2] de las afecciones es posible describirlas en torno a dos momentos. El primero correspondiente al proceso histórico previo a 1970, y el segundo, asociado al reconocimiento de bien de relevancia, es decir, desde 1947, cuando se recupera, en adelante. Al primer momento la valoración reporta una relación de gravedad de deterioro *Grave* y probabilidad del deterioro *Alta* (4puntos), de ello, las acciones de conservación correctiva y restauración directas e inmediatas eran fundamentales (IPCE 2019), así como la ejecución de un diagnóstico técnico que las avale y limite la acción repentina, continua y progresiva de factores de deterioro. En el segundo momento la valoración reporta una relación de gravedad de deterioro *Leve* y probabilidad de deterioro *Baja* (1punto), es decir, no existe afección o riesgo identificado por lo que, se pueden establecer medidas de conservación preventiva con carácter directo, pero no inmediato. Además, no existen limitaciones en cuanto al uso cultural del bien (IPCE 2019).

La priorización de la situación previa indica, para el primer momento (antes de 1947) un *status de prioridad alta o elevada* (4puntos), mientras en el segundo (después de 1947), un *status poco importante o prioridad mínima*

(1 punto). Esta dualidad de situaciones de deterioro, y su relevancia, son propias de la condición histórica del bien en los dos momentos en cuestión, así como de su estado de conservación actual y naturaleza geológica. Asimismo, el análisis cualitativo y cuantitativo de las afecciones indica que, la situación de los dos momentos ciertamente supone un escenario complejo, tanto para conocer cuanto para conservar al bien. En el primer caso, la probabilidad de las afecciones es *Alta*, mientras en el segundo, *Baja*. En complemento, los escenarios de cuantificación de impacto de las afecciones reportan *Impacto Alto* e *Impacto Bajo*, respectivamente [Tabla 3]. Asimismo, los rangos de catalogación para las afecciones se ubican en *Nivel de riesgo alto* (30 puntos – 60 puntos) y *Nivel de riesgo aceptable* (5 puntos – 10 puntos).

A partir de los resultados previos, se enmarca un solo tipo de acción, ya que solo el primer momento reporta puntajes en los niveles de gravedad – probabilidad *Grave-Alto*, y en los niveles de magnitud de priorización, *Elevada* o *Alta*. Como es evidente, en relación al primer momento histórico, al cual se corresponde al panorama previo, es irrelevante cualquier acción de conservación (*Procedimientos de seguimiento y control de riesgos de deterioro* y *Protocolos de gestión*), para detectar situaciones de deterioro, su eliminación o minimización (IPCE 2019), no así en el segundo, incluso considerando que el método de análisis propuesto no refiere una actuación directa e inmediata. De ello, desde el ámbito de la conservación preventiva se establece que, según el estado actual y las condiciones de conservación es necesario proceder con acciones de mínima intervención garantizando la estabilidad y estanquidad (UNE 41810), y efectuar mantenimiento y monitoreo especializado, al considerarse como decisiones comunes de conservación desde un enfoque basado en el riesgo (Michalski & Pedersoli 2016), ya que se desconocen posibles afecciones futuras.

Puntualmente se recomienda la limpieza homogénea manual con métodos acuosos como el agua desionizada de pH 7,5 (UNE 41810), sensible a redefinirse durante la ejecución propiamente dicha y con respeto por la conservación de la pátina existente y evitar una transformación dramática de la apariencia (Doehne & Price 2010; Laborde 2013), contraviniendo los principios de reversibilidad, autenticidad e integridad (Documento de Nara 1994). Esta intervención deberá ser ejecutada por un profesional avalado por el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, y a su vez, la propuesta deberá obtener la validación técnica de la misma institución (REPÚBLICA DEL ECUADOR 2016, Art. 71 y Art. 72). En adelante será fundamental la construcción de un plan integral o ciclo de conservación (Michalski & Pedersoli 2016).

Conclusiones

El estudio sobre la Piedra Fundacional de la Iglesia de San Blas fue la ocasión para estudiar la historia y vicisitudes

de bienes que llegan a reconocerse como patrimoniales, aunque hayan pasado en el anonimato. De hecho, los procesos de documentación y conocimiento patrimonial a nivel local exponen al día de hoy avances sustanciales para mitigar este tipo de situaciones, sin embargo, también demandan proyección futura y fuertes innovaciones. En este sentido, la experiencia interdisciplinar de documentación entre la fotogrametría tridimensional, TAC, DRX y SEM aplicada es un hito en el conocimiento de los materiales históricos y los bienes patrimoniales de Cuenca.

En el primer caso, se reconoce que, esta técnica de investigación ha permitido documentar el estado actual del objeto, y con ello, a través del análisis de mallas detectar marcas, grabados, deterioro que no se observan a simple vista. En este sentido, esta es una herramienta idónea para monitorizar el estado de conservación de un bien patrimonial. En complemento, obtener un modelo 3D constituye una oportunidad para su salvaguarda, además de ser un medio adecuado de difusión y divulgación.

De otro lado, también se comenta la existencia de varias limitaciones en cuanto a la TAC y al SEM, las cuales establecen un escenario investigativo a corto plazo. La primera, para cubrir la imposibilidad de ampliar conocimientos hacia la densidad total, número atómico efectivo y porosidad, y en el caso del SEM, en cuanto a características físicas como el sistema poroso de la roca. En última instancia un mecanismo para determinar el comportamiento mecánico particular. De tal forma, la aplicación de las dos técnicas se evidencia como una aproximación técnica, y, por tanto, no es concluyente. Caso contrario es la analítica petrográfica, la cuantificación química elemental y la mineralógica, a partir de las cuales ha sido posible escribir minuciosamente la composición del bien patrimonial. A pesar de ello, gracias al conjunto de técnicas aplicadas, se ha determinado que, el objeto de estudio es una caliza bioclástica, a pesar de su semejanza a otros pétreos de la zona de Cuenca. Así, el potencial del plan de análisis ejecutado y la importancia de este estudio supone un recurso técnico útil, y evidentemente perfectible, para el diagnóstico e intervención en bienes patrimoniales.

En consecuencia, y a pesar de los buenos resultados obtenidos, no se descartan actividades complementarias; ampliar el análisis tomográfico, incursionar en la Geoestadística y los análisis de durabilidad del bien patrimonial, capaces de mejorar el conocimiento, la estrategia de conservación y extrapolar los resultados a otros bienes. Este mismo escenario es el de la evaluación del riesgo del deterioro, la cual ha permitido delinear unas estrategias mínimas de conservación a fin de no apearar la situación actual del bien, pero que, a su vez, no desconoce imprevistos, tal como los acontecidos previo a 1947.

Finalmente, el estudio desarrollado permite destacar la articulación entre academia, institución pública e institutos públicos de investigación, y con ello, la producción de

conocimiento técnico para la conservación y la difusión de dicho patrimonio cultural.

Agradecimiento

En calidad de autores, extendemos nuestro agradecimiento a MedImagen (Cuenca), al Laboratorio de Investigación y Análisis del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (Dirección Ejecutiva), a la Dirección de Transferencia del Conocimiento y Tecnología del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural por la asistencia desde el Fondo Nacional de Fotografía y al Archivo Histórico Fotográfico, del Museo Pumapungo y el Ministerio de Cultura y Patrimonio. Finalmente, al Arq. Álvaro Maldonado por su particular aporte en la conservación de la Iglesia de San Blas y sus bienes asociados.

Referencias

AGUIRRE ULLAURI, M. (2021). *Materiales históricos, lectura histórico constructiva y caracterización. El caso de Cuenca (Ecuador)*, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.69331>

ALBORNOZ, B. (2007). *Planos e imágenes de Cuenca*. Quito: Sector Público Gubernamental

BOSSEMA, F., COBAN, S., KOSTENKO, A., VAN DUIN, P., DORSCHIED, K., GARACHON, I., HERMENS, E., VAN LIERE, T., & BATENBURG, K. (2021). Integrating expert feedback on the spot in a time-efficient explorative CT scanning workflow for cultural heritage objects, *Journal of Cultural Heritage*, 49, 38 - 47, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2021.03.004>

BOLAND, M.P., PILATASIG, L., IBADANGO, E., Mc COURT, W., ASPENDE, J., HUGHES, R. & BEATE, B. (2000). *Geology of the Western Cordillera between 0°-1°N*. Serie Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información cartográfica y Geológica. Quito: Cogidem – British Geological Survey.

CALLE, M & ESPINOSA, P. (2002). *La Cité Cuencana: el afrancesamiento de Cuenca en la época republicana (1860 – 1940)*. Trabajo de titulación, Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5992>

CARPIO, J. (1979). *Cuenca: su geografía urbana*. Cuenca: López Monsalve.

CEDILLO-MENDOZA, A. V., IZQUIERDO-ESPINOZA, M. C., JIMÉNEZ-NICOLALDE, V., & CABRERA-JARA, N. E. (2021). Regeneración urbana, sentido de pertenencia y apropiación en Áreas Patrimoniales: estudio de cuatro espacios públicos del Centro Histórico de Cuenca. *Diseño Arte y Arquitectura*, 11: 81–106. <https://doi.org/10.33324/daya.vi11.460>

CHACÓN, J. (1990). *Historia del Corregimiento de Cuenca (1557-1777)*. Quito: Banco Central del Ecuador.

CORDERO, J. (2012). *Historia Territorial de la provincia del Azuay*. Cuenca: GAD Municipal del Cantón Cuenca.

DOEHNE, E. & PRICE, C. A. (2010). *Stone Conservation. An Overview of Current Research*. 2nd. Edición. Los Ángeles: Getty Publications. <https://www.getty.edu/publications/virtuallibrary/9781606060469.html>

ERAZO, M. (1957). Apuntes sobre la Geología y Estructura del Valle de Cuenca. *Anales de la Universidad de Cuenca*, Tomo III, 1: 157 – 197.

ESBERT, R. M, GROSSI, M., VALDEÓN, L., ORDAZ, J., ALONSO, F. J. & MARCOS, R. M. (1990). Estudios de laboratorio sobre la conservación de la piedra de la Catedral de Murcia (1), *Materiales de Construcción*, 40 (217): 5 – 15. <https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/780/837>

ESPINOZA, J. (2009). *Cuenca, San Blas 1557*. (19 de enero de 2012). <http://cuencacultural.blogspot.com/2012/01/cuenca-san-blas-1557.html>

FARFÁN, A. (2008). *El Recurso histórico, cultural y recreativo de las plazas de la Calle Bolívar*. Trabajo de Titulación, Universidad del Azuay. <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7462/1/06966.pdf>

FEDOROV, A., BEICHEL, R., KALPATHY-CRAMER, J., FINET, J., FILLION-ROBIN, J., PUJOL, S., BAUER, C., JENNINGS, D., FENNESSY, F., SONKA, M., BAUTTI, J., ALYWARD, S., MILLER, J., PIEPER, S. & KIKINIS, R. (2012). 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network, *Magnetic Resonance Imaging*, 30 (9): 1323 – 1341, <https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001>

GOY, A., GÓMEZ, J.J. & YÉBENES, A. (1976): El Jurásico de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica (Mitad Norte). I. Unidades Litoestratigráficas. *Estudios Geológicos*, 32: 391-423.

GUERRA, J., & ROMÁN, R. (2004). *Las Plazas del Centro Histórico de Cuenca*. Trabajo de titulación, Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/6148>

HUNGERBUHLER, D., STEINMANN, M., WINKLER, W., SEWARD, D., EGÜEZ, A., PETERSON, D., HELG, U. & HAMMER, C. (2001). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador, *Earth-Science Reviews*, 57 (1-2): 75-124. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00071-X](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00071-X)

ICOMOS. (1994). *Documento de Nara sobre Autenticidad*. https://www.icrom.org/sites/default/files/publications/2020-05/convern8_06_docudenara_esp.pdf

IDROVO, J. (1993). Arquitectura y urbanismo en Tomebamba, Ecuador. *Beiträge zur Allgemeinen und vergleichenden Archäologie*, 13: 253-330.

IDROVO, J. (1998). Tomebamba: primera fase de conquista incásica en los Andes septentrionales. Los Cañaris y la conquista incásica del austro ecuatoriano. En Dillehay, T. & Netherly, P. (eds.)

- La frontera del estado inca*, 71-84. Quito: Fundación Alexander von Humboldt y Ediciones Abya-Yala. <https://downloads.arqueo-ecuatoriana.ec/ayhpwxgv/bibliografia/Dillehay-LaFronteraDelEstadoInca.pdf>
- IDROVO, J. (2000). *Tomebamba. Arqueología e historia de una ciudad imperial*. Cuenca: Ediciones del Banco Central.
- IDROVO, J. (2012). *Prospección arqueológica en la Iglesia de San Blas*. Informe entregado al Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, Cuenca. Documento Inédito.
- IPCE. (2019). *Guía para la implementación de planes de conservación preventiva*. Librería Cultura y Deporte España. <http://www.iber museos.org/recursos/documentos/guia-para-la-elaboracion-e-implantacion-de-planes-de-conservacion-preventiva/>
- JAILLARD, E., ORDÓÑEZ, M., VACA, W., DHONDT, A., SUÁREZ, J., & TORO, J. (2008). Sedimentary record of terminal Cretaceous accretions in Ecuador: The Yunguilla Group in the Cuenca area, *Journal of South American Earth Sciences*, 25 (2): 133 – 144. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2007.08.002>
- JAMIESON, R. (2003). *De Tomebamba a Cuenca*. Quito: Abya Yala. https://digitalrepository.unm.edu/abya_yala/91
- JUNTA DE ANDALUCÍA & MUNICIPALIDAD DE CUENCA. (2007). *Guía de Arquitectura. Cuenca/Sevilla*. <https://n9.cl/hvu0>
- LABORDE, A. (2013). *Proyecto COREMANS: "Criterios de intervención en materiales pétreos"*, Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. <https://n9.cl/03ef9>
- LAMBOURN, E. (2006). Brick, timber, and Stone: building materials and the construction of Islamic Architectural History in Gujarat. *Muqarnas*, 23: 191 – 217. <https://www.jstor.org/stable/25482442>
- LEÓN, A., CALLE, F., HERMIDA, C., PERALTA, J., CHACÓN, H. & BECERRA, E. (2016). *San Blas viejo y querido barrio*. Cuenca: GAD Municipal del Cantón Cuenca y Dirección de Cultura, Recreación y Conocimiento.
- LONGO, S. MORMINA, E., GRANATA, F., MALLAMACE, D., LONGO, M. & CAPUANI, S. (2018). Investigation of an Egyptian Mummy board by Using Clinical Multi-slice Computed Tomography, *Studies in Conservation*, 63 (7): 383 - 390. <https://doi.org/10.1080/00393630.2018.1439805>
- LONGO, S., GRATANA, F., CAPUANI, S., NERI, F. & FAZIO, E. (2019). Chemical-structural analysis of wooden painted specimens by clinical multi-slice computed tomography (MSCT) and surface-enhanced Raman scattering (SERS). En *IMEKO TC-4 International Conference of Metrology for Archaeology and Cultural Heritage*. pp. 324 – 329. Florencia. <https://www.imeko.org/publications/tc4-Archaeo-2019/IMEKO-TC4-METROARCHAEO-2019-60.pdf>
- MALDONADO, I. & MALDONADO, A. (2013). Línea del tiempo de la Iglesia de San Blas. Proyecto de Conservación y Restauración Arquitectónica de la Iglesia de San Blas. *Documento inédito*.
- MALDONADO, A. (2017). Reportaje fotográfico de la Piedra Fundacional de la Iglesia de San Blas (Cuenca). *Documentación inédita*.
- MARCOS. J. (1982). *Los Pueblos Navegantes del Ecuador Prehispánico*. Quito: Abya Yala.
- MANCERO, M. (2012). *Nobles y cholos: raza, género y clase en Cuenca 1995-2005*. Quito: FLACSO. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/52542.pdf>
- MICHALSKI, S. & PEDERSOLI, J. (2016). *The ABC Method: a risk management approach to the preservation of cultural heritage*. Ontario: Government of Canada International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property. https://www.iccrom.org/sites/default/files/2017-12/risk_manual_2016-eng.pdf
- MINISTERIO DE MINAS Y PETRÓLEOS. (2009). *Hoja Geológica Cuenca*. Escala 1:100 000. Quito: Servicio Geológico Nacional. <https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-tematicos-1-100-000/>
- MIQUEL-GONZÁLEZ, L., ORTIZ RABELL, G., & CASTRO CASTIÑEIRA, O. (2017). Aplicación de la técnica de tomografía axial computarizada para mejorar la caracterización de las rocas sello y reservorio de los yacimientos petroleros cubanos, *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 41: 72-79. <https://doi.org/10.15446/rbct.n41.55046>
- MORA HORTA, L. (2016). *Guía práctica-armado una precisa matriz de riesgos*. https://www.flexcompliance.com/repository/LUCIO_MORA_GUIA_PRACTICA_PARA_EL_ARMADO_DE_UNA_PRECISA_MATRIZ_DE_RIESGOS.pdf
- MUINOS BARROS, M. (2019). El tezontle, la piedra de México. *Molécula: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, 33: 9 – 13. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6887408>
- NAOOM, E. & MOHAMMAD, K. (2022). Rehabilitation and Repair of AL- Tahera Church in AL- Hamdaniya District, Mosul City, Iraq, *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00787, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00787>
- NEIRA, G. (2010). *Estudio histórico de San Blas, Cuenca, Ecuador*. Informe histórico, presentado como complemento del estudio arqueológico realizado en 2012 al Instituto Nacional de Patrimonio Cultural.
- NORMA UNE-EN 12407:2007. (2007). *Métodos de ensayo para piedra natural. Estudio petrográfico*. Comité técnico 22/SC5 – Piedra Natural. Madrid.
- NORMA UNE-EN 12670:2020. (2020). *Piedra Natural. Terminología*. Comité técnico 22. Minería y explosivos. Madrid.
- NORMA UNE-EN 12440:2019. (2019). *Piedra Natural. Criterios de*

- denominación. Comité técnico 22. Minería y explosivos. Madrid.
- NORMA UNE 41810. (2017). *Conservación del patrimonio cultural. Criterios de intervención en materiales pétreo*. Comité Técnico CTN 41 Construcción. Madrid.
- NORMA UNE 16095 (2016). *Conservación del patrimonio cultural. Informe del estado del patrimonio cultural mueble*. Comité Técnico CTN 41 Construcción. Madrid.
- NÚÑEZ DEL ARCO, E. (2003). Geología de la Sierra Ecuatoriana. En Nuñez del Arco. *Geología del Ecuador*, 103 - 106. Guayaquil: Escuela Politécnica del Litoral.
- ORTIZ MENESES, A. F., PLATA CHAVES, J. M., HERRERA OTERO, E., & SANTOS SANTOS, N. (2015). Caracterización estática de rocas por medio de tomografía computarizada de Rayos-X TAC. *Revista Fuentes, El reventón energético*, 13(1): 57-63. <https://doi.org/10.18273/revfue.v13n1-2015005>
- PAYNE, E.M., (2013). Imaging Techniques in Conservation. *Journal of Conservation and Museum Studies*, 10 (2): 17-29. <http://doi.org/10.5334/jcms.1021201>
- PARISI, C., PELOSI, C., SANTAMARIA, U., POGLIANI, P., AGRESTI, G. & LONGO, S. (2016). The conservación Project of a liturgical object. The case of Infant Jesus of Prague in the Church of Saint Mary of Providence at Macchia Giarre (Italy). *European Journal of Science and Theology*, 12 (2): 235 - 244.
- PESÁNTEZ, G. (2001). *Cuenca y la vida de sus barrios en la colonia*. Cuenca: Casa de la Cultura Núcleo del Azuay.
- RAMÍREZ, J. (2019). *Informe parcial de resultados. Proyectos Los materiales en el estudio-histórico-constructivo-ambiental de los centros patrimoniales. EL caso de Cuenca. ETAPA 2*. Universidad Católica de Cuenca e Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, Cuenca. Documento inédito.
- RAMÍREZ J. (2020). *Informe parcial de resultados. Muestras comerciales. Proyectos Los materiales en el estudio-histórico-constructivo-ambiental de los centros patrimoniales. El caso de Cuenca. ETAPA 2*. Universidad Católica de Cuenca e Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, Cuenca. Documento inédito.
- REPÚBLICA DEL ECUADOR. (2016). Ley Orgánica de Cultura. *Registro Oficial Suplemento* 913. https://www.presidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2017/08/a2_LEY_ORGANICA_DE_CULTURA_julio_2017.pdf
- RIVERA, M. (2018). Clasificación en base al comportamiento geomecánico de las rocas en la perforación de sondeos diamantinos. Trabajo de titulación, Universidad de Concepción. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/3143>
- ROMERO, M., MÁRMOL, M., VÁSQUEZ, C., ESPINOZA, F., DÍAZ, R. & SANTAMARÍA ROBLES, E. (2021). Aproximación al contexto de producción de la obra pictórica "Milagro de la Virgen de Guápulo en su Santuario", atribuida a Miguel de Santiago (Siglo XVII). *Ge-Conservación*, 19 (1): 153-164. <https://doi.org/10.37558/gec.v19i1.728>
- SALVATICI, T., CALANDRA, S., CENTARURO, I., PECCHIONI, E., ITRIERI, E. & GARZONIO, C. A. (2020). Monitoring and evaluation of sandstone decay adopting non-destructive techniques: on-site application on building stones, *Heritage*, 3: 1287-1301, <https://doi.org/10.3390/heritage3040071>
- SANDSTROM, M. (1991). *Microscopic Examination of Mortars*. En Eurolime Colloquium. Newsletter. University of Karlsruhe.
- SLICER COMMUNITY. (2020). 3D Slicer image computing platform. Disponible en: <https://www.slicer.org/>
- TENA, M. (2019). *Fundamentos para la gestión del envejecimiento y conservación sostenible de las estructuras del patrimonio arquitectónico*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.56007>
- TERÁN ZENTENO, C. (1947). *Índice histórico de la Diócesis de Cuenca 1919-1944*. Cuenca: Editorial Católica.
- TORRES-QUEZADA, J., TORRES, A., ISALGUE, A. & PAGES-RAMON, A. (2022). The evolution of embodied energy in andean residential buildings. Methodology applied to Cuenca-Ecuador, *Energy and Buildings*, 259, 111858, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111858>
- VARGAS, J. & VÁZQUEZ, A. (2019). La implementación tecnológica en la arqueología histórica: Uso del georradar en la iglesia de San Blas en Cuenca, Ecuador, *Revista de arqueología americana*, 37. <https://doi.org/10.35424/rearam.37.2019.712>
- VERGARA, L. & VERDUGO, R. (2017). Características del terreno de fundación de sitios con edificios dañados severamente en el terremoto del 27F. *Obras y Proyectos*, 21: 46-53. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132017000100006>
- WOLF, T. (1892). *Geografía y Geología del Ecuador*, Casa de la Cultura Ecuatoriana. Quito.
- YAHYA, H. A. & ABDUL SAMAD, M. H. (2014). The role of building materials in architectural design. *Applied Mechanics and Materials*, 679: 6-13. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.679.6>
- ZEREN, M. T. & KARANAM, O. Y. (2015). Analysis of traditional building techniques and damage assessment of traditional Turkish house: The study of timber-framed Kula Houses. *International Journal of Architectural Research*, 9 (1): 261 - 288. <https://archnet.org/publications/10081>

Autor/es

María del Cisne Aguirre Ullauri
cisne2222@hotmail.com/maguirreu@ucacue.edu.ec
 Universidad Católica de Cuenca (Ecuador)
<https://orcid.org/0000-0002-3179-7839>

Arquitecta, Máster Universitario en Conservación y Restauración del Patrimonio Arquitectónico. Doctora en Patrimonio Arquitectónico por la Universidad Politécnica de Madrid (España). Docente Investigadora Principal y Coordinadora del Centro de Investigación de Ingeniería, Industria, Construcción y TIC de la Universidad Católica de Cuenca (Ecuador). Miembro de los Grupo de Investigación CAT –Ciudad, Ambiente y Tecnología- y Ciencia & Diversidad de la Universidad Católica de Cuenca, la Red Ecuatoriana de Mujeres Científicas, ICOMOS Internacional y la Organization for *Women in Science for the Developing World*.

Artículo enviado el 02/03/2022
 Artículo aceptado el 11/06/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1100>



Diana Carolina Cordero Mendieta
dianacorderomendieta@gmail.com
 Escuela Politécnica Superior del Litoral

Arqueóloga, Licenciada en Ciencias de la Educación con mención en Historia y Geografía, maestrante del programa de Arqueología del Neotrópico por la Escuela Politécnica Superior del Litoral. Virtualizadora del patrimonio cultural. Coordinadora de la consultora Mayu: Cultura, Patrimonio y Transiciones Ecosociales.



Luis Mario Almache Sánchez
lalmaches@ucacue.edu.ec/marioalmh@hotmail.com
 Universidad Católica de Cuenca (Ucacue), Ecuador.
<https://orcid.org/0000-0001-8691-1777>

Ingeniero Civil, Máster en Geología Aplicada y Geotécnica. Estudiante de Doctorado en Riesgos Geológicos en la Universidad de León (España). Docente Principal en la Universidad Católica de Cuenca (UCACUE), Ecuador. Consultor Geológico, Geotécnico, Geofísico independiente

Review of satellite resources to assess environmental threats in rammed earth fortifications

Mónica Moreno, Rocío Ortiz Calderón, Pilar Ortiz Calderón

Abstract: The nature of rammed earth fortifications and the environmental conditions where they are located determine the pathologies that these structures suffer in the presence of humidity sources and strong winds. The objective of this project is to revise the main mechanisms of deterioration of rammed earth fortifications and evaluate the use of remote detection as a tool to register environmental threats that affect their preservation. The selected images and satellite results offer information about precipitation, ground humidity, temperature, wind intensity and direction and the presence of particles in the wind. The use of statistical analysis methodologies for large volumes of satellite images makes it possible to acquire daily, monthly and yearly maximums, averages and minimums of these variables. The application of satellite resources GPM, SMAP, MODIS, Merra-2 and the statistical analysis of large volumes of images for preventive conservation in Andalusia has become useful to monitor the main threats that affect rammed earth fortifications on a global level: humidity, wind and temperature.

Keywords: vulnerability, fortifications, hazards, rammed earth, remote sensing products

Revisión de recursos satelitales para evaluar amenazas ambientales en fortificaciones de tapia

Resumen: La naturaleza de las fortificaciones en tapia y las condiciones ambientales del entorno en el que se ubican condicionan las patologías que estas estructuras sufren ante la presencia de fuentes de humedad y fuertes vientos. Este trabajo tiene como objetivo revisar los principales mecanismos de degradación de las fortificaciones en tapia y evaluar el uso de la teledetección como herramienta de registro de las amenazas medioambientales que afectan a su preservación. Las imágenes y productos satélites seleccionados ofrecen información sobre precipitación, humedad del suelo, temperatura, intensidad, dirección y presencia de partículas en el viento. El uso de metodologías de análisis estadístico de grandes volúmenes de imágenes satelitales permite obtener máximas, medias y mínimas diarias, mensuales y anuales de estas variables. La aplicación de los recursos satelitales GPM, SMAP, MODIS, Merra-2 y el análisis estadístico de grandes volúmenes de imágenes para la conservación preventiva en Andalucía resulta de utilidad para monitorear las principales amenazas que afectan a las fortificaciones en tapia a nivel global: humedad, viento y temperatura.

Palabras clave: vulnerabilidad, fortificaciones, peligrosidades, tapia, productos satelitales

Introduction

Historically, tapia—or rammed earth—has been a constructive technique widely utilised in different time periods and cultural contexts. Its use has become widespread in the construction of houses, palaces, fortifications and religious buildings, and its remains are common in archaeological sites and vernacular structures, the result of constructive richness and diversity that rammed earth heritage features (Jaquin *et al.* 2008). In practice, of the 150 earth constructions that are declared World Heritage Sites, at least 39% preserve rammed earth structures (Gandreau & Delboy 2012). In Spain, a large part of traditional architecture and medieval fortifications are

constructed in rammed earth, its presence is common in the walls of many historical centres.

Concern about environmental problems is motivating a return to the use of traditional materials, like rammed earth, that do not implicate CO₂ emissions in the process of manufacturing and it is an interesting option to reduce the carbon footprint of construction (Arrigoni *et al.* 2017; Kariyawasam & Jayasinghe 2016).

Traditionally, the knowledge related to rammed earth constructions has been passed on orally (Ávila *et al.* 2021). Although its current use as a construction material has required the development of studies that standardise

its characterisation, hydromechanical performance and evaluate the deterioration processes it undergoes (Quoc Bao Bui *et al.* 2014b; Giuffrida *et al.* 2019; Jiménez Delgado & Guerrero 2007).

The fact that conserved rammed earth fortifications in many cities of the Iberian Peninsula have lasted for centuries makes it interesting to study which factors affect its resistance and durability, especially in the face of threats that are considered more aggressive, such as strong and prolonged rain, or water access through capillarity from the subsoil (Beckett *et al.* 2020).

While in contemporary constructions water access can be controlled using stabilizers and designing constructive elements that protect the rammed earth, in heritage buildings, the continuous exposure to water creates serious pathologies over time that are difficult to resolve and are the main cause of reparation interventions and maintenance in historical rammed earth (Avram *et al.* 2001; Mileto & Vegas 2013). In archaeological sites, coverings are usually carried out and sacrificial mortars and consolidating agents are used to insure the conservation of the rammed earth in the long term (Correia *et al.* 2016). Interventions in medieval fortifications have mainly included the reintegration of lost areas and eroded walls and filling cracks. The use of incompatible restoration mortars has produced its own pathologies such as lack of adhesion, which is one of the main problems that the intervened areas present. Canivel and Graciani (2012) attribute its cause to incorrect installation, which hinders the bond between screed mortars and the original rammed earth, while the laboratory tests carried out about restoration mortars (Gomes *et al.* 2016, 2018) and grouts for filling cracks (Silva *et al.* 2018) associate these pathologies with the addition of Portland cement as a stabilizer. In their archival review about restorations of rammed earth fortifications conducted between 1980-2010 in Spain, García Soriano and Mileto (2015) highlight the frequent use of mortars stabilised with Portland cement and the problems with installation in many of these interventions. The appearance of displacements and erosion are very common pathologies that minimize the durability of the rammed earth. Identifying the direct causes of these alteration indications in restored walls creates controversy, especially when the materials and installation have been respectful of the originals. It is about the complex deterioration models in which the original rammed earth, the completed restorations and the environmental conditions must be kept in mind. Ground-breaking work like that of Gutiérrez Carrillo and Oliveira (Gutiérrez-Carrillo *et al.* 2021; Oliveira *et al.* 2019) registers the factors of environmental danger that influence the deterioration of rammed earth fortifications. However, studies that determine the impact of the environment in the behaviour of historical structures and their restorations are still scarce, so the development of studies that analyse how these environmental mechanisms determine the durability of the rammed earth is fundamental, especially

if they allow the full expanse of the fortifications to be covered.

Facing the described problems, this study aims to contribute to the knowledge about the benefits that remote detection offers for the collection of environmental data and monitoring of heritage buildings. As an analysis technique, remote detection enables gathering land coverage data according to its emission spectrum (Chuvieco 2016; Perez & Muñoz 2006). Its application in walls and fortifications would allow insight into the surroundings of the rammed earth and its environmental conditions. In fact, as a consequence of technological advances, analysis models are being used for statistical work on large volumes of satellite data and large geographical areas over long periods of time (Awange & Kiema 2019; Chuvieco & Emilio 2007; Gorelick *et al.* 2017; Lasaponara & Masini 2020). Today the satellite images are a very useful tool for the analysis of heritage environments, the gathering of information about its recent past and the decision-making for its preservation (Agapiou *et al.* 2020; Cuca & Hadjimitsis 2017; D. G. Hadjimitsis *et al.* 2020; Luo *et al.* 2019b).

From this perspective, this study is intended to identify the main factors of danger and deterioration mechanisms of rammed earth and evaluate the main satellite resources and analysis methods that make monitoring those threats possible.

Methodology

Satellite resources have been tested for monitoring precipitation, ground humidity, temperature and wind for the evaluation of the threats that affect the preserved rammed earth fortifications in Andalusia (Spain). The precipitation data has been acquired from Global Precipitation Measurement (GPM), that of ground humidity from Soil Moisture Active Passive (SMAP), that of temperature from the result MOD11A1.006 derived from Aqua-MODIS and that of wind from the result M2TMNXAER derived from Merra-2.

All of the satellite data has been acquired by the use of the Worldview and Giovanni viewfinders and the processing software in the Google Earth Engine cloud. The location of the 216 rammed earth fortifications in Andalusia has been acquired from the IAPH Digital Heritage Guide (IAPH, s.f). Subsequently, all of the data has been migrated to a Geographical Information System like ArcGIS, to identify the exposure of the fortifications to the registered dangers.

Rammed earth: compositional characteristics and deterioration processes

Rammed earth is an architectural structure composed of a mixture of sand, gravel and clay that is compacted by

tamping it down inside wooden formwork. When only clay is used as a binding agent it is called unstabilised rammed earth. In these unstabilised rammed earth structures, it is the clay, due to its small particle size (<0.002 mm), which provides cohesion to the mixture. If different binding agents are added to the rammed earth other than clay, it is designated stabilised rammed earth (Avram *et al.* 2001; Mileto & Vegas 2013).

While almost any type of local soil can be used to make rammed earth, it is necessary to control the particle size distribution and the proportion of the materials used to ensure the aptitude of the soil. In spite of this, the proportion in which the materials are mixed can vary enormously in the making of rammed earth. The percentage of clay used varies between 8-20% and that of sand between 50-75% of the dry weight of the mixture (Ávila *et al.* 2021; Giuffrida *et al.* 2019; Niroumand *et al.* 2021). Within these margins, the content of clay determines the resistance of the rammed earth walls. While proportions close to the minimum offer a higher resistance due to the high capacity of the clay to retain water, proportions close to the maximum increase plasticity and favour workability and the compressive strength of the wall (Gomes *et al.* 2014). The type of clay also determines the behaviour of the rammed earth. While kaolinite, illite or chlorite are non-expandable clays, montmorillonite, smectite and vermiculite are expandable clays that, in the presence of water, expand and contract, creating cracks. The addition of silt, sand or straw reduces the effects of expandable clays, and the addition of gravel and pebbles increases the durability (Reddi *et al.* 2012). Among these components, natural fibres make the behaviour of the rammed earth in seismic areas better (Giuffrida *et al.* 2019; Jiménez Delgado & Guerrero 2007).

To increase the durability and resistance of the rammed earth, since ancient times, a large variety of stabilisers and additives have been put in to modify texture, structure and physio-mechanical properties of the rammed earth in a controlled way. The main stabilisers used have been lime and cement (Ávila *et al.* 2021; Hall *et al.* 2012; Toufigh & Kianfar 2019). The masonry of medieval fortifications is an example of stabilised rammed earth that is called soil and lime concrete. In turn, the mortars used in its restoration usually employ lime and cement as stabilisers in different proportions (Gomes *et al.* 2016).

The studies of rammed earth characterization identify the materials that make up different historical masonry. Different methodological proposals and local studies exist (Avram *et al.* 2001; Canivell García de Paredes 2011; Hamard *et al.* 2016, 2020), of which the objective is to compositionally characterise the material nature of the fortifications (Martín-del-Río *et al.* 2018; Mota-López *et al.* 2021; Ontiveros Ortega *et al.* 2008). The methodology developed by Gomes *et al.* (2014) in the south of Portugal makes it possible to establish relationships between the compositional characteristics and the aptitude of the

vernacular rammed earth structures in relation to current structural regulations (Jiménez Delgado & Guerrero, 2007). The results acquired by Gomes *et al.* (2014) conclude that the contents of the organic matter and the maximum particle size is greater in historical rammed earth structures than in current ones due to the use of local soil and the scarce processing of the soil used in historical rammed earth structures.

In respect to the constructive technique, the compaction of the rammed earth allows the rigidity and mechanical resistance of the soil to improve. This process reduces air pockets and increases the dry density in the rammed earth (Cuccurullo *et al.* 2021). The difference in working method and compaction energy determine the resistance of the resulting rammed earth (Ávila *et al.* 2021), while the optimal water content favours the compaction of the soil to maximum dry density. Currently, the optimal amount of water can be calculated by means of Proctor tests or modified Proctor tests and it is common to use mixtures with 5-15% dry weight (Ávila *et al.* 2021; Gerard *et al.* 2015; Reddi *et al.* 2012). The distribution, the size and shape of the grains and the amount of clay-like minerals also determine compaction (Cuccurullo *et al.* 2021; Jiménez Delgado & Guerrero 2007). According to Ávila *et al.* (2021) course-grained soil reaches a higher density than finer-grained soil. In summary, properties such as water content, particle size, chemical and mineralogical composition, or constructive technique determine the dry density and resistance, varying in modern rammed earth between 1700 - 2200 kg/m³ and in historical rammed earth between 1770 - 1990 kg/m³ (Niroumand *et al.* 2021). As a consequence, the compaction and raw materials used in the making of rammed earth determine its hydro-mechanic behaviour in the environment (Giuffrida *et al.* 2019; Jiménez Delgado & Guerrero 2007).

At the design level, the stone bases that many of the historical rammed earth buildings exhibit act as a layer of isolation that protects against water access from the subsoil and rain splashes. The lime linings are also permeable protective elements that minimize water access to the interior of the wall (Hall and Djerbib 2005). The presence of stone finishings and laterite roofing material are designed with a similar function of protection. Figure 1 presents different typologies of rammed earth works preserved in medieval Spanish fortifications. After the XI century, along with simple rammed earth [Figure 1B and 1C], mixed works are starting to be used that include the use of brick walls [Figure 1A], a change in metrical spacing after the XII century and a stone and laterite lining of the structures [Figure 1D] in subsequent time periods (García *et al.* 2008). The constructive technique model used and the state of conservation of the materials determine the durability of these rammed earth structures (Moreno *et al.* 2019).

During their useful lifespan, rammed earth walls behave as an unsaturated geomaterial that exhibits water and



Figure 1. - A) Rammed earth lined with stone, Alcalá de Guadaira Castle (Seville); B) View of simple rammed earth, Alcalá de Guadaira Castle (Seville); C) View of simple rammed earth, Palmar del Río (Seville); D) Rammed earth lined with brick and stone, Alcazaba of Málaga.

gas-filled spaces. For this reason the internal capillary suction processes have a major influence on the degree of resistance that the structures present (Gerard *et al.* 2015; Laloui *et al.* 2013). Changes in environmental humidity and temperature mean that the earth walls undergo constant absorption and desorption processes. The high water retention capacity depends on open porosity, micropores and the hygroscopicity of the clays (Quoc Bao Bui *et al.* 2014a; Giuffrida *et al.* 2019; Pauporté & Sgambi 2019). According to Cucurullo *et al.* (2021) a decrease in environmental humidity means an increase in capillary suction, a decrease of water in the pores and an increase in the resistance and rigidity of the rammed earth. Conversely, an increase of water content in the surroundings produces reduced suction, an increase of ductility and a decrease in the mechanical properties of the material. Otcovska *et al.* (2019) describes this phenomenon on a microscopic scale and indicates that an increase in water means a decrease in the uniting forces between clays, sand and gravel that varies depending on the type of soil. On a macroscopic scale, various authors (Avram *et al.* 2001; Morel *et al.* 2012; Moreno *et al.* 2019) relate humidification and drying acts to the reduction of the mechanical resistance, expansion of the clay minerals or swelling of the walls. These processes

materialize in cracks and displacements [Figure 2] that increase vulnerability and facilitate water access to the interior of the material and erosion processes.

In the explained alteration processes, the deterioration of the rammed earth is generally due to durability problems from their materials (Beckett *et al.* 2020), mechanical failures caused by load levels are less common (Serrano-Chacón *et al.* 2021). The durability, understood as the resistance to deterioration over long time periods, defines the ability to resist wear generated by environmental and adverse anthropogenic effects. In the case of rammed earth structures numerous authors (Q. B. Bui *et al.* 2009; Giuffrida *et al.* 2019; Morel *et al.* 2012; J. Richards *et al.* 2019) agree that the durability of the walls is mainly determined by the resistance to water and wind.

The factors related to the decrease in resistance that rammed earth undergoes facing an increase in water content have been investigated from diverse perspectives: laboratory testing that recreate controlled environmental conditions (Cucurullo *et al.* 2021; Villacreses *et al.* 2021); field tests that reproduce simulated rainfall events (Richards *et al.* 2019); and long-term studies that have



Figure 2.- A) and B) Displacements identified in the urban wall of Niebla; C) Erosion identified in the Alcazaba of Córdoba; D) erosion and fragmentation in the fortress of Marchena.

allowed evaluation of ageing processes over 20 year time periods (Bui *et al.*, 2009). According to Hart *et al.* (2021) prolonged rainfall is more detrimental for a rammed earth structure than a short, intense rainfall, although, an increase in the kinetic energy of the raindrops due to the intensity and the angle of incidence due to wind action determine the erosive power of the rain (Jenny Richards *et al.* 2020). In short, it is the changes in mechanical resistance level that rammed earth undergoes as it moistens which determine the deterioration process. During a prolonged rain event, the water penetrates to a greater depth in the wall, reduces its mechanical resistance and makes it more vulnerable to the erosive effect of rain. As a consequence, the risk of precipitation and the vulnerability of the structure increase with exposure time, intensity and wind.

The use of geomorphic signatures (Richards *et al.* 2020) and vulnerability matrices that are adapted to work with rammed earth (M. Moreno *et al.* 2019) make it possible to establish relationships between deterioration processes, alteration factors and the current state of vulnerability. The established relationship between identified deterioration patterns and climate conditions is of great interest to understand the deterioration processes of these types of structures. The studies developed by Richards *et al.* (2020) relate the presence of delamination and strong erosion processes to the humidification-drying cycles accompanied by strong winds that occur in semi-arid climates. In Mediterranean climates, the studies completed by Moreno *et al.* for Seville (2019) identify deterioration patterns that cause differential erosion in 89% of the

199 evaluated sections of walls due to the effects of rain and wind; while water access through capillarity causes displacements and granular disintegration in 56% of the evaluated sections.

The studies carried out until now highlight the necessity to analyse the existing correlation between surrounding climate factors and the pathologies that reduce durability in rammed earth structures. Therefore, tools such as remote detection and the use of geographical information systems, which offer continuous and consistent georeinforced climate data, are especially useful for the analysis of threats that affect rammed earth structures due to the reliance on meteorological conditions and their large expanse in the area.

Satellite resources and methodologies for monitoring the environment of heritage structures

As an analysis technique, remote detection acquires land cover information depending on the interactions that occur between the objects being studied and a source of illumination (Awange & Kiema 2019; Rodríguez Pérez, D., Sánchez Carnero, N., Domínguez Gómez, J. A., & Pastrana 2015). If the sensor that registers that interaction is carried by a satellite it is called remote spatial detection and if it is a small aircraft or an unmanned plane it is called remote airborne or photogrammetry detection. One of the main advantages of satellite data is that it allows near-global and consistent coverage to compare data gathered in

areas that are far away from each other. For this reason it has been used a lot in cartographic updating and in the automatic detection of land use changes, the type of land coverage or climate changes (Sobrino 2001).

Table 1 summarizes the main satellite resources available for monitoring the danger factors that affect rammed earth fortifications. These have been included: (1) satellite images that are produced directly from the radiance/

reflective values gathered by satellite instruments; and (2) algorithms that indirectly produce climate reanalyses and estimated results based on mathematical calculations applied over satellite images. The time period covered, the temporary spatial resolution, the available bands and the existence of derivative results have been analysed with the goal of evaluating environmental threats in heritage structures. It must be taken into account that the temporal resolution can decrease for areas outside of Europe in the

Satellite/ Instruments/ Algorithms	Types of data	Period	Spatial Res.	Temporal Res.	Bands/ Polarisation/ Result	Danger factors analysed
Landsat/ currently OLI and TIRS	Multispectral passive satellite VIS-SWIR	1979-present	30-15-100 m	15 days	7 spectral bands, 1 panchromatic band and 2 thermal bands. It also has derivative results with vegetation bands, burned areas, etc.	Urbanisation and asphalt in heritage environments (Elfadaly <i>et al.</i> 2017; Elfadaly & Lasaponara 2019; D. Hadjimitsis <i>et al.</i> 2013) Changes in the vegetative development of green areas and ground humidity (Titolo 2021; Wellmann <i>et al.</i> 2020) Ground temperature, fires and burned areas (Agapiou & Lysandrou 2021; Cook <i>et al.</i> 2014a)
Sentinel 2/MSI	Multispectral passive satellite VIS-SWIR	2017-present	10-20-60 m	5 days	10 spectral bands	Urbanisation and asphalt in heritage environments (Elfadaly & Lasaponara 2019) Changes in the vegetative development of green areas and ground humidity (Abate & Lasaponara 2019; Chen <i>et al.</i> 2020).
Sentinel 1	C band active radar satellite	2014-present	10-25-40 m	6 days	2 dual and simple VV, HH, VV + VH, HH +VV polarisation bands	Flooding in non-urban lands (Lopez <i>et al.</i> 2020) Land displacements and seisms (Chen <i>et al.</i> 2020; Kosta <i>et al.</i> 2020b; Themistocleous & Danezis 2020a)
Aqua EOS, Terra EOS/ MODIS	Passive satellite. Spectroradiometer.	2000-present	250 - 500 - 1000 m	1 day	36 spectral bands. It also has derivative results with vegetation bands, the earth's surface temperature, burned areas, etc.	Changes in the vegetative development of green areas and ground humidity (Gu <i>et al.</i> 2007) Changes in ground temperature, risk of fire and burned areas (Bisquert <i>et al.</i> 2014; Quintero <i>et al.</i> 2019) Concentrations of aerosols and sandstorms (Sarikhani <i>et al.</i> 2021; Xie <i>et al.</i> 2017)
ERA 5 Land	Climate reanalysis	1981-present	11.132 m	1 day/ 1 month	50 bands with different estimated climate variables	Monitoring of climate variables: precipitation, air and ground temperature, solar radiation, evaporation, velocity and direction of the wind, etc. The data is reliable in time periods over 1 year (Liu <i>et al.</i> 2020)
GLDAS-2.2	Climate reanalysis	2000-present	27.830 m	3 hours	36 bands with different estimated climate variables	Monitoring of climate variables: precipitation, air and ground temperature, solar radiation, evaporation, wind speed, ground humidity at different depths, etc. The data is reliable in time periods over 1 year (Cai <i>et al.</i> 2017).
CHIRPS	Estimated result	1981-present	5.566 m	1 day	1 precipitation band	Precipitation and meteorological droughts. The data is reliable in time periods over 1 year. (Alahacoon & Edirisinghe 2021; Funk <i>et al.</i> 2015; A. Kumar <i>et al.</i> 2021; Moreno <i>et al.</i> 2022)
PERSIANN-CDR	Estimated result	1983-present	27.830 m	1 day	1 precipitation band	Precipitation and meteorological droughts. The data is reliable in time periods over 1 year (Santos <i>et al.</i> 2021)

GPM	Active-passive satellite. Dual frequency precipitation radar/microwave camera. Estimated result	2000-present	11.132 m	1 month/ 3 hours	4 precipitation bands	Precipitation and meteorologic droughts over short and long time periods (Retalis <i>et al.</i> 2022; Tang <i>et al.</i> 2020)
GSMaP	Estimated result	2000-present	11.132 m	1 hour	2 precipitation bands	Precipitation and meteorologic droughts over short and long time periods (Retalis <i>et al.</i> 2022)
SMAP	Active-passive satellite. Estimated result	2015-present	10.000 m	3 days	5 ground humidity bands	Ground humidity, subsoil humidity and anomalies in the registered humidity levels (Lopez <i>et al.</i> 2020)
Aqua EOS/Air/DM2TMNXAER	Infrared probe. Estimated result	1980-present	60,000 m	1 month	1 surface dust mass concentration band	Presence of dust particles in the air and sandstorms (Ghazal 2020)

Table 1.- List of the main satellites, instruments and algorithms available to assess environmental threats in rammed earth constructions.

case of the Sentinel 1 and 2 satellites. The available bands and satellite results can vary in all satellites depending on the image processing level. Throughout this study the differences between the stated resources and their possible use for the study of rammed earth structures are explained.

— *Current use of satellite resources and methodologies for heritage monitoring*

In the analysis of risk and vulnerability of cultural heritage, the studies completed with remote detection raise a special interest because of the use of satellites with passive instruments and multispectral images for the research and analysis of risks in archaeological complexes and historical landscapes (Cuca & Hadjimitsis 2017; Luo *et al.* 2019a). The Landsat (1979-present) and Sentinel 2 (2014-present) series are the most used satellites (Table 1) due to the fact that they carry multispectral sensors. They produce groups of images in layers (or bands) based on the radiance/reflectance registered at a given wavelength in the area of study. Their application to the analysis and monitoring of rammed earth fortifications allows the identification of humidity levels in green areas or urban growth processes that affect the immediate context of the fortifications. Their main advantage is high spatial resolution, 30 m on Landsat and 10 m on Sentinel, which enables their use in limited environments like urban areas. The main disadvantage of these satellites is that they carry passive sensors that do not capture information from the earth's surface in the presence of clouds or the absence of solar light, for this reason their use in context of heavy rainfalls is limited.

The analysis methodology used on these types of satellite images has been based on the use of false-colour combinations (blue, green and red), standardised indices and classifications based on the levels of reflectance registered in different bands (Abate & Lasaponara, 2019). Landsat has derivative results like Global Human Settlement Layers (GHSL) which include the results of using urbanisation

indices and construction date classifications for certain periods of time. Unlike the bands, the derived results can be consulted without needing to execute any type of analysis. Figure 3A shows the result of applying the combination of bands B7, B6 and B4 from Landsat 8, which identifies the asphalt ground in purple and, therefore, the possible areas where there could be difficulties to drain water from the subsoil in the city of Seville. Figure 3B shows the results of using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from a Landsat 8 image to identify the green areas in the city of Seville and their proximity to the medieval fortifications that are outlined in black. This type of index is very useful for monitoring urban irrigation systems and recreational areas where fortifications are often located.

Since 2010, the use of new satellite resources in heritage has diversified (Agapiou *et al.* 2020; Luo *et al.* 2019b). The LiDAR flights enable the gathering of information from the earth's surface with a high spatial resolution in areas of dense vegetation (Lieskovský *et al.* 2018; Rodríguez-González *et al.* 2017; Trier *et al.* 2021); and synthetic aperture radars (SAR radar) work at very high wavelengths and capture data in almost any climatic and environmental condition (Chen *et al.* 2017; Iadanza *et al.* 2013; Lopez *et al.* 2020; Tapete & Cigna 2017b; Themistocleous & Danezis, 2020a). The active sensors carried by LiDAR and the SAR radar go through the clouds and capture information from the earth's surface in situations where a passive satellite is not capable, such as a rain event, the presence of smoke associated with a fire or volcanic activity. As an example, the active satellite Sentinel 1 (5.405GHz, C band) offers information available since 2014 with 3 different spatial resolutions (10, 25 or 40 metres) and simple or dual (HH+HV, VV+VH) polarisation (Table 1). By way of example, Figure 4 shows the differences between two satellite images taken on the same date over the city of Granada, one through a passive satellite (Landsat 8) and another through an active satellite (Sentinel 1). While the information captured by the passive sensor that day is minimal, the active sensor goes through the clouds and acquires information about the city centre, which is

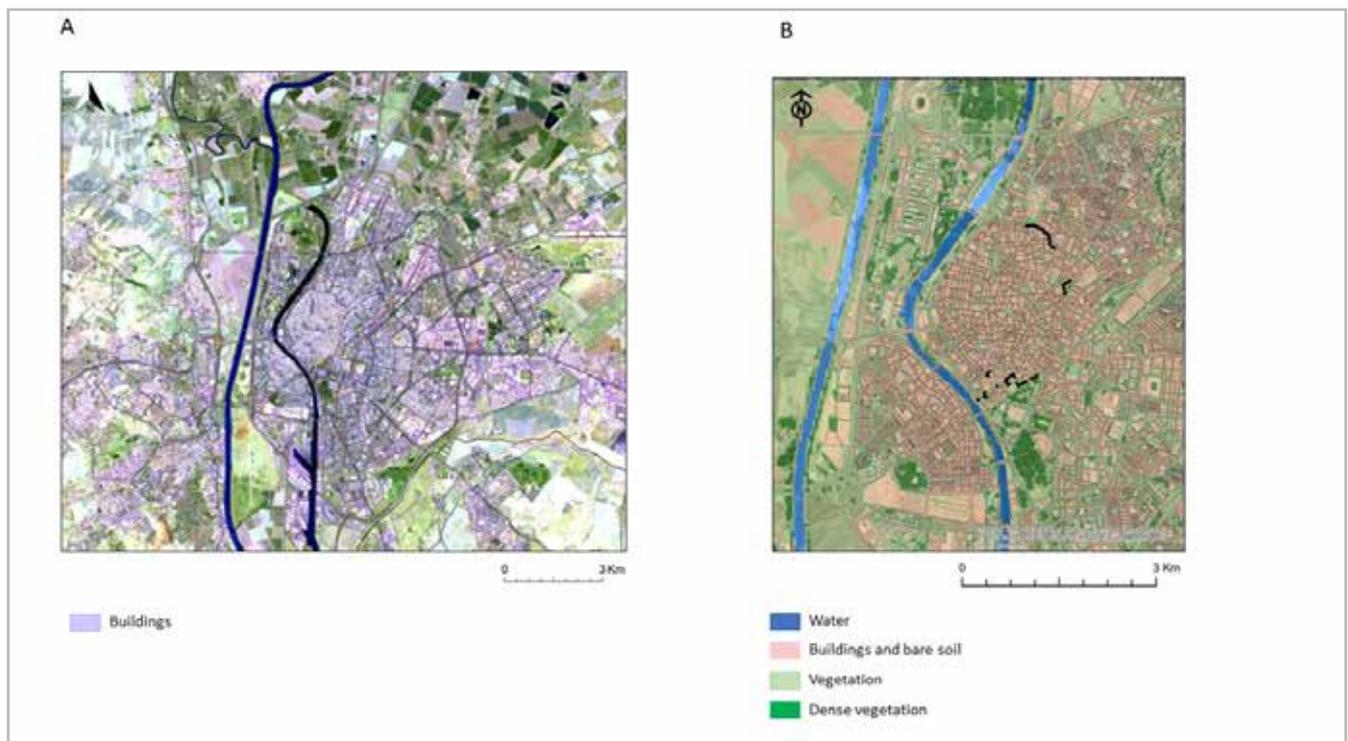


Figure 3.- Images acquired from the multispectral Landsat 8 satellite for the city of Seville: A) combination of urban false-colour bands (B7, B6 and B4); B) and of land coverage classification from the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): $(B5-B4)/(B5+B4)$. Satellite images downloaded on the Google Earth Engine and processed in SMAP and ArcGIS.

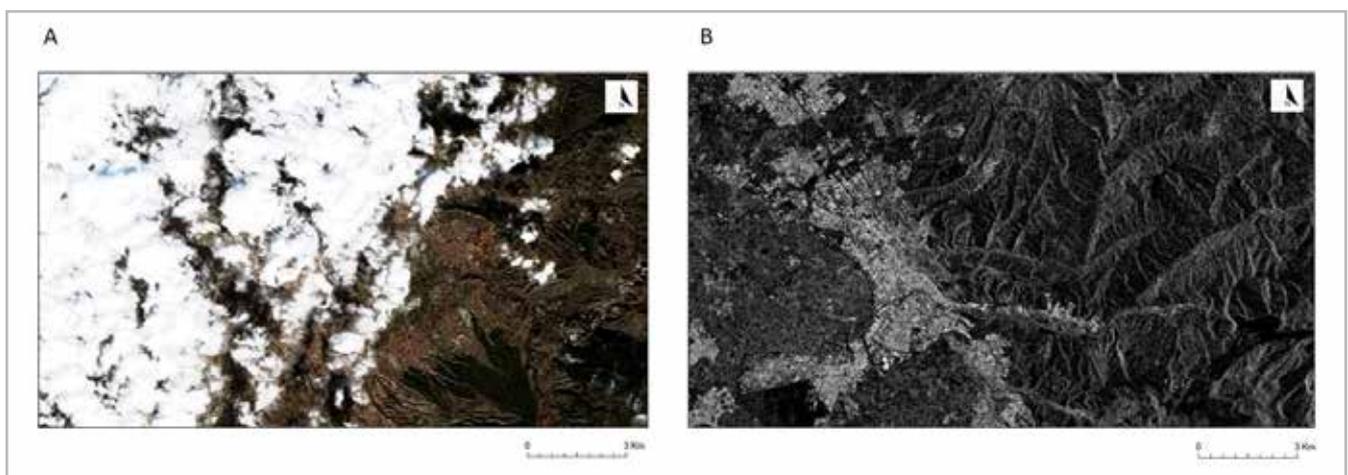


Figure 4.- Satellite images in the city of Granada, Spain: A) Passive satellite Sentinel-2; B) Active satellite Sentinel-1 (November 2021). Images acquired from the EO Browser viewfinder.

highlighted light grey in figure 4B. For this reason, the applied use of active sensors in the management of rammed earth fortifications can be very useful to monitor floods and vegetation in non-urban areas.

Another application of SAR radar satellites is the interferometry that acquires very accurate topographic measurements by analysing the differences in backscatter and existing stages between two measurements (Kosta *et al.* 2020b; Themistocleous & Danezis 2020b). The possibilities offered by its application in patrimony have generated numerous studies to analyse the effects of seismic waves and land displacements (Chen *et al.* 2020; Kosta *et al.* 2020a;

Tapete & Cigna 2017a; Themistocleous & Danezis 2020b). Applied to the study of rammed earth fortifications, it is key to identifying the origin of failures in the mechanical behaviour of rammed earth, cracks and collapses.

— Capabilities of satellite resources and methodologies for preventative conservation studies

Estimated meteorologic satellite results and climatic reanalysis are widely used today (Geer *et al.* 2017; Hersbach *et al.* 2020a), nevertheless, their application to heritage conservation has only been considered on a theoretical

level (Lasaponara & Masini 2020) and scarcely used on a practical level.

The appearance of new satellite results from the reflective data and algorithms or numerical calculation models that acquire indirect measurements of parameters such as temperature or precipitation is becoming increasingly common. Once devised, these estimated results are calibrated by comparison with direct measurements from ground-based meteorological stations to adjust the mathematic models. Examples of such results would be CHIRPS (Shen *et al.* 2020), PERSIANN(Ashouri *et al.* 2015b), Era5 (Hersbach *et al.* 2020b)or GSMaP (Aonashi *et al.* 2009; Kubota *et al.* 2017). As Table 1 shows, in these types of reprocessed results, the available bands are no longer related to the different levels of radiance or reflectance but to the meteorological parameters estimated indirectly from the calculations made (temperature, wind, precipitation, etc.).

At present, the great challenge is how to implement tools and methodologies capable of analysing statistically large volumes of satellite information and acquire essential information for the monitoring and conservation of heritage structures (Agapiou 2017; Ma *et al.* 2015). In contrast to the analysis of one reduced group of images, the statistical work with large volumes of historical satellite series generates maps and graphs with daily, monthly and annual maximum values, averages, cumulative amounts, etc. (Cuca & Hadjimitsis 2017; Lasaponara & Masini 2020). In recent years, advances in the development of viewfinders and processing software in the cloud have made this new work option possible, diversifying the possibilities that satellite images offer as a source of information and favouring their use in many different disciplines (Mutanga & Kumar 2019).

Table 2 synthesises a list of the main free access resources for the analysis of satellite images and highlights which of them can be used to work statistically with large volumes of data. New software like Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>) offer the possibility to consult and statistically analyse complete historical series from main satellites such as Landsat, MODIS, Sentinel, etc. (Agapiou 2017; Agapiou & Lysandrou 2021) and facilitate work with estimated satellite results or climatic reanalysis with data on precipitation, ground humidity, wind, temperature and other factors closely related to the deterioration of the heritage assets.

Furthermore, the use of viewfinders facilitates the access and use of satellite resources to people who do not specialise in remote detection work. EO Browser (<https://apps.sentinel-hub.com/>) allows acquiring combinations of bands and indices for unit analysis of images pertaining to passive and active satellites; WorldView (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>) makes it possible to visualise historical series of a large part of the displayed reprocessed resources and Giovanni (NASA) (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>) carries out simple statistical operations (averages, maximums, accumulated values, correlations...) on large volumes of images (Table 2).

In summary, the introduction to the statistical study of satellite images as a humidity, precipitation and temperature monitoring tool, would make it possible to develop preventative conservation plans in territories with a large number of heritage structures and its application would help with decision-making for the redistribution of available technical, professional and economic resources, minimising the risk of losing the structures. Satellite resources with environmental parameters offer continuous and global coverage of the planet that allows relationships

Name of software	Description	Unit analysis of satellite images	Statistical analysis of satellite images
Quantum GIS (QGIS)+ Google Earth Engine plugin for QGIS	Geographical Information System. Desktop software from the Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)	Yes (Titolo 2021)	Yes (Rufin <i>et al.</i> 2021)
Sentinel Application Platform (SNAP)	satellite image processing programme. Desktop software from the European Space Agency (ESA)	Yes (McGarragh <i>et al.</i> 2015)	No
Google Earth Engine (GEE)	Geo-spatial processing platform in the Google cloud	Yes	Yes (Gorelick <i>et al.</i> 2017; L. Kumar & Mutanga 2018)
EO Browser	Satellite image viewfinder developed by the European Space Agency (ESA)	Yes (Fedoniuk <i>et al.</i> 2021; Kim <i>et al.</i> 2009)	No
Giovanni	Satellite image series viewfinder developed by the National Aeronautics and Space Administration (NASA)	Yes	Yes (Ghane Ezabadia <i>et al.</i> , 2021; Jamali <i>et al.</i> 2022)
Climate Engine (Huntington <i>et al.</i> 2017)	Climate satellite image series viewfinder run by Google	Yes	Yes (Huntington <i>et al.</i> 2017)

Table 2.- Open access software available for the analysis of satellite images

to be established between variables detected in very distant places. In spite of this, the absolute variables acquired from these images must be validated with land-based meteorological station data before being used.

Application of satellite resources to the evaluation of environmental threats for rammed earth fortifications in Andalusia

Because of the possible uses that the employment of environmental satellite resources offers and the scarce use they have had up to this point in patrimony, hereafter, the characteristics of satellite resources listed in table 1 for the gathering of climate and environmental variables are explained in detail. The GPM precipitation, SMAP subsoil humidity, MODIS temperature and Merra-2 wind resources have also been tested by their application to the case study of conserved rammed earth fortifications in Andalusia.

Within the satellite results that estimate environmental parameters, multiple precipitation algorithms exist that work on infrared and microwave wavelengths (Sun *et al.* 2018). The data from the Global Precipitation Measurement (GPM) satellite is an example of this (Table 1) and it offers precise and accurate values according to the data taken in land-based stations for monitoring rain events. The derivative images from this network of satellites offer estimated precipitation data in mm/h every 30 minutes for an almost global spatial coverage of the planet (60°Sx60°N) and a spatial resolution of 0.1° (10km) since 2014. To recover previous precipitation data, it is possible to access the images acquired through its predecessor, the TRMM (1998-2015) or consult GSMaP. Applied to patrimony, the statistical analysis of these series of satellite results offers graphics that register the intensity of heavy rain events in different contexts and favours the access to maximum, minimum and average daily, monthly and annual data in the immediate surroundings of a fortification.

Identifying climate characteristics and evaluating the effects of climate change requires working closely with the available information for long periods of time known as climate normals. The reproduced satellite results offer a climatic reference of more than 30 years to compare current observations and identify climate anomalies. These tools, applied to the management of rammed earth fortifications, help to identify areas located in rainier climates and areas especially affected by strong storms or long droughts. They are essential for monitoring and planning preventative conservation activities in territories that are affected by climate change.

As table 1 shows, Era5 reanalysis is available to carry out climate studies; algorithms such as: PERSIANN, calculated by the use of artificial neural networks from satellite sensors that operate in infrared and microwave; and CHIRPS, calculated from infrared observations and land-based station data. The validation studies carried out to

date show that this data is acceptable for annual analysis and reliable for long climatic periods, not for daily data (Ashouri *et al.* 2015a; Funk *et al.* 2015; Hsu *et al.* 2021; Tetzner *et al.* 2019; Moreno *et al.* 2022). As an example, figure 5A shows the results acquired from the calculated average of 240 monthly precipitation images from GPM between 2001 and 2021. The resulting image from the statistic calculation of satellite images is very similar to that generated by the Spanish Meteorological Agency (AEMET) from the interpolation of data gathered by land-based stations (<http://agroclimap.aemet.es/>), and easily identifies the high precipitation areas in the Iberian Peninsula. Galicia, the Cantabrian strip, the Pyrenees and Cádiz. The acquired precipitation data allows clearly defined areas to be identified, although the absolute pixel values (mm/h) must be validated on a local level with land-based meteorological stations before being used. Image 5B provides a detailed view of the Andalusian area and the conserved rammed earth fortifications. 9% of the 216 fortifications analysed are located between Cádiz and Málaga in the area highlighted in dark blue in the image, so they are exposed to greater danger from rain and they will be more prone to suffer humidity problems. 7% of the fortifications located in the light blue area are situated in Almería, where there is a lesser danger of precipitation and, in similar conditions of vulnerability, they should have a higher durability.

Era5 offers estimates of more than 50 climate variables such as ground humidity, evapotranspiration, air temperature, intensity and direction of the wind, etc. (table 1) since 1979 with a spatial resolution of 0, 28° (approx. 30 km) and 3 temporal resolutions (hour, day or month). Era 5-Land is an improved model of Era-5 (Muñoz-Sabater *et al.* 2021) and it offers data as far as 1981 with a spatial resolution of 11x11 km. The data is reliable for annual analysis and long climate periods, not for daily data. Applied to the study of rammed earth fortifications, its use makes it possible to categorize distinct climate contexts and evaluate existing threats for rammed earth structures in an area.

To quantify ground humidity and evaluate possible water access through capillarity, Soil Moisture Active Passive (SMAP) is available, which has 2 measurement instruments, a radar and a microwave radiometer functioning at 1,2 GHz. The measurement of superficial and subsurface humidity in land coverage is based on existing differences in backscatter between dry and/or humid soil (Entekhabi *et al.* 2010; Zhang *et al.* 2017). From this satellite data, the GLDAS model has contributed humidity data from different depths since 1948 with a 27 km spatial resolution and a 3-hour temporal resolution (Table 1). This type of information can also be consulted in Era 5. Its use in patrimony identifies changes in ground humidity and predicts droughts and floods. In rammed earth structures, it is very interesting to monitor the drying of the soil after a heavy rain event and identify the higher risk areas due to drainage problems in the subsoil. As an example, image 6A presents the registered humidity levels in the subsoil on a

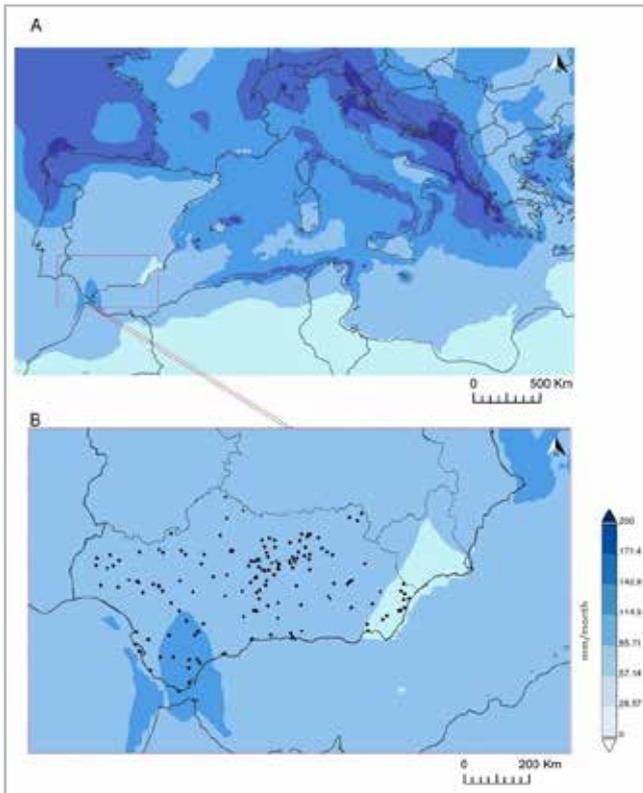


Figure 5.- A) Average of the precipitation satellite images from 2001 to 2021. Data acquired from the monthly GPM IMERG model and statistically analysed in the Giovanni viewfinder; B) Detail of the Andalusian area with the location of rammed earth fortifications marked with black dots.

winter day and image 6C, the registered humidity levels on a summer day in the Mediterranean. As figure 6D illustrates, the Mediterranean climate in Andalusia determines that a large part of the rammed earth fortifications suffer low levels of ground humidity and drought events that can favour the appearance of ground settlement issues and fracturing in clay soils (Santos 1997). In forested areas, low subsoil humidity also increases the risk of fire. As figure 6B shows, in winter months, subsoil humidity increases across the board with the exception of the southeast coastline and the area of Almería, which continues to present low humidity levels. This area corresponds to the area identified in figure 5B as the area with the least risk of precipitation, so the fortifications located here will be more affected by periods of severe droughts and will be more prone to showing cracks associated with ground movements. Applying statistical calculation methodologies to the daily ground humidity images would allow the identification of geographic areas with very dry summers or very humid winters that debilitate rammed earth structures.

To acquire temperature data, Era5 and GLDAS are available. The Aqua and Terra satellites also have the MODIS sensor that recovers daily data on the land surface temperature (LST) with a 1,2 km spatial resolution. In turn, it is possible to calculate LST from the bands on the Landsat 8 satellite (Table 1) with a 30 m resolution, but the parasitic light problems detected generate errors that must be assessed before its use (Cook *et al.* 2014b). Figure 7 shows the LST

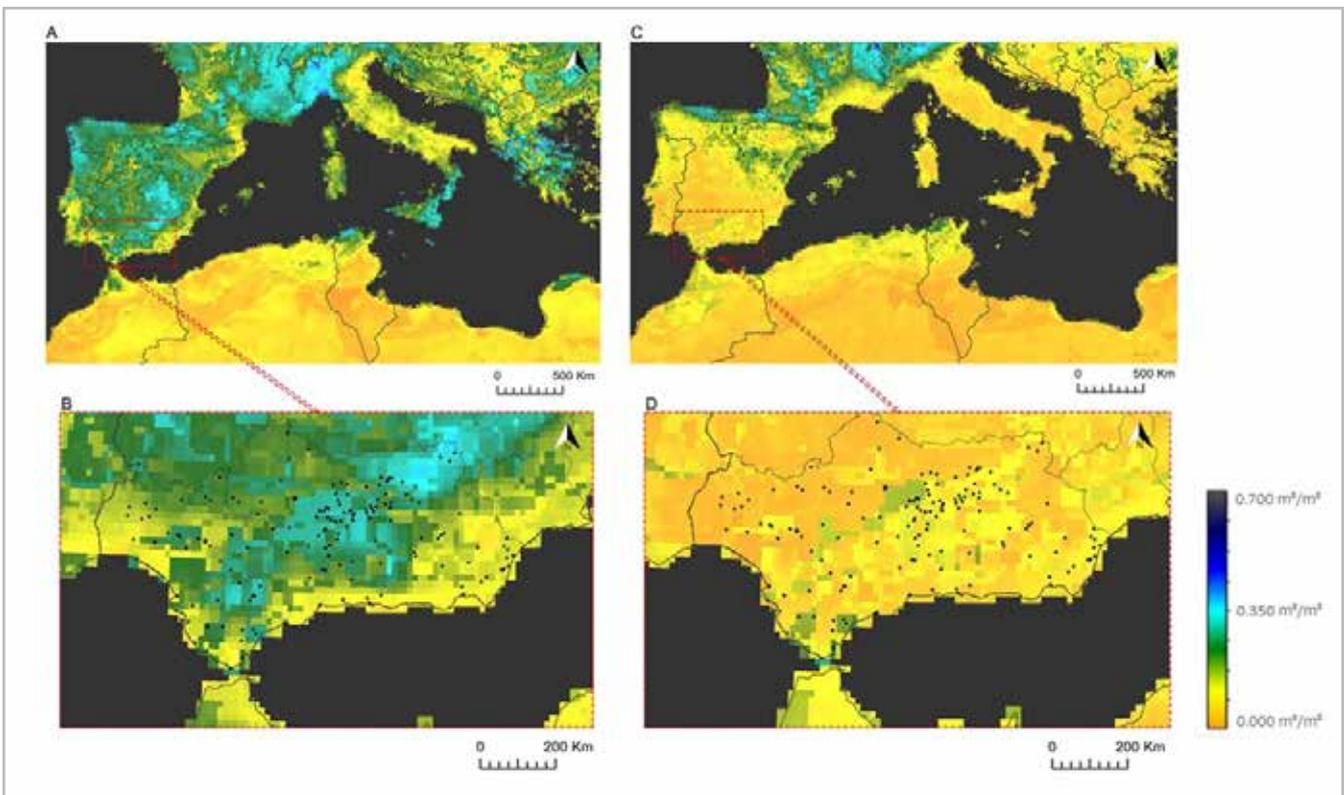


Figure 6.- Superficial humidity model images calculated from SMAP data: A) in summer (1st of August 2020); C) in winter (1st of November 2020). C and D) Detail of the Andalusian area with the location of rammed earth fortifications marked with black dots. Images acquired from the Worldview viewfinder.

reached in the Mediterranean area in the summer of 2021 and makes the registered high temperatures in the north of Africa and the southern half of the Iberian Peninsula visible. In particular, image 7B shows the registered temperatures in Andalusia and registers the highest temperatures in the Guadalquivir river valley and the Almería area. 45% of the studied fortifications are found in areas that, in the summer of that year reached average LSTs above 29°C, while only one of the analysed fortifications is located in surroundings with average temperatures lower than 27°C, a situation that reflects the high registered temperatures in the summertime in Andalusia. LST monitoring, especially after periods of rain and long dry periods, is essential to understand the wet and dry cycles of rammed earth and the occurrence of droughts. The combination of the use of LST, air temperature and precipitation values and vegetative coverage maps such as Corine LandCover or the image-based classifications made from Landsat and/or Sentinel-2 images makes evaluating the risk of fire possible. Along these lines, the cartography made based on the Fire Weather Index (FWI) is very useful for preventing fires in heritage landscapes (Moreno *et al.* 2021).

In relation to the presence of wind, existing free access resources offer indirect measurements of wind intensity from models like GLDAS. Era 5 offers the possibility to identify the intensity and direction of the wind. The acquired data covers a height of 10 meters above the earth's surface and differentiates between the north wind and the east wind. Applied to the monitoring of rammed earth fortifications, knowing the intensity and direction of the wind favours comprehension of the erosion processes. This type of resource must be revised with care in fortifications in urban environments where the presence of taller buildings conditions the winds and must be complemented by the use of wind roses and orientations of the structures (Ortiz 2014).

In turn, the number of solid particles transported increases the erosive power of wind currents. Sandstorms can be observed in the images acquired with MODIS since 2000. This sensor transported on the Aqua and Terra satellites, has algorithms that calculate the average optical density (AOD) of aerosols, a variable related to biomass burning, pollution and the presence of dust. In practice, the results of AOD offered by the sensors express the amount of light removed from a beam by dispersion and/or absorption during its journey through a medium. At the same time, Aqua EOS/Airs and Merra-2 have specific estimated results for the measurement of dust in the air. Figure 8A makes the high presence of windblown particles from North Africa visible and the long distances over which they are transported. For the case of the Andalusian area, image 8B shows how 3% of the fortifications located in Huelva were not affected by the sandstorm, while 24% of the fortifications located in Almería and Granada, the area highlighted in darker brown in the image, were the most affected by these types of very erosive winds during the month of September in 2021. In the most affected areas, in addition to the erosive effect, an increase in dust deposits on the horizontal surface of rammed earth

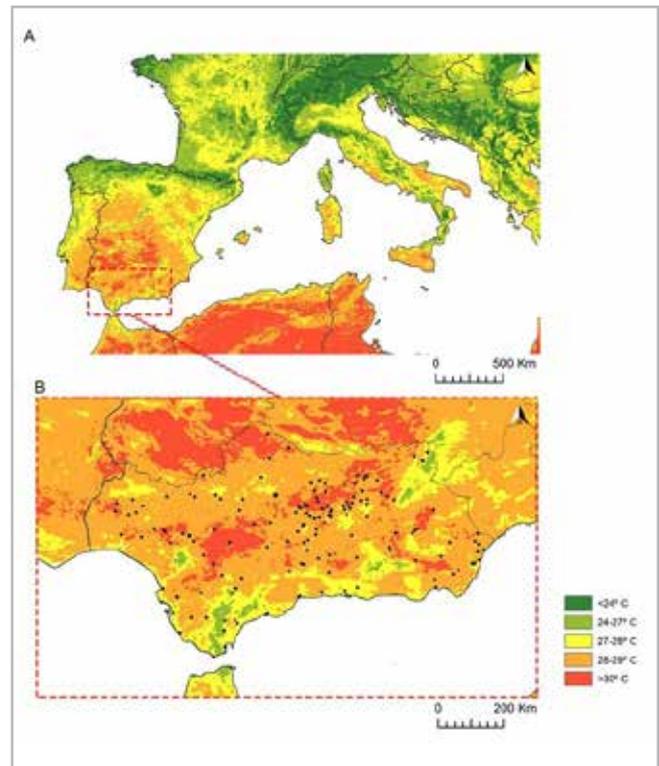


Figure 7.- Average temperature on the earth's surface registered between July and August 2021. Map calculated on Google Earth Engine from the surface temperature result (MOD11A1.006) made from the data gathered by the MODIS sensor.

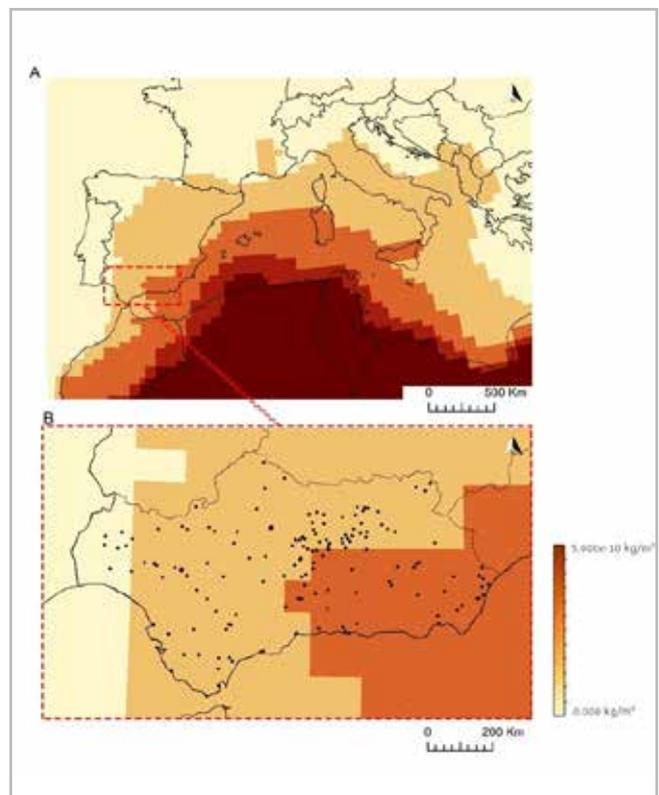


Figure 8.- Images from the monthly surface dust mass concentration model calculated from Mera-2 (M2TMNXAER) in September 2021. Imaged acquired from the Worldview viewfinder.

is expected.

In summary, the study carried out so far corroborates that satellite resources offer useful data to identify environmental threats on heritage environments. As has been noted in the brief analysis given for the Andalusian fortifications, the use of satellite resources has allowed the differentiation of 3 geographic areas which present discernible surroundings and dangers: (1) the Cádiz-Málaga area presents a higher risk of precipitation and humidity access from the subsoil; (2) the Almería area presents a greater risk of drought and highly erosive winds; (3) the rest of Andalusia presents average levels of danger for these factors. The information collected coincides with the cartography generated by AEMET according to the land-based meteorological stations and validates the results acquired by the use of satellite resources.

The application of the presented resources to the monitoring of rammed earth fortifications allows global climate studies of widespread territories to be carried out and to differentiate danger levels based on registered precipitation, temperature and wind values in recent years. In turn, its use favours the analysis and evaluation in settings of previous risk, the prediction of future risk situations and rapid gathering of information after an emergency situation. For the future, it is necessary to encourage the development of studies that define the usefulness and reliability of existing resources, normalise workflows and methodologies applied to the gathering of data in heritage settings and validate the existing satellite resources for comparison with the data collected by land-based meteorological stations.

Conclusions

The more frequent deterioration processes in rammed earth fortifications generate erosion, displacements and delaminations. The durability of rammed earth and the appearances of these pathologies are strongly affected by rain, the presence of humidity in the subsoil and the humidification and drying cycles that imply changes in the mechanical resistance of the walls. In arid and semi-arid climates, the intensity of solid-particle-laden winds favours the erosion processes and the existence of long dry periods that increase the risk of mechanical damages due to the alteration of the balance between the foundation of the wall and the environment.

Remote detection allows the monitoring of water and wind presence, the main environmental threats that affect rammed earth fortifications, through the use of diverse satellite resources: (1) GPM and GSMAP for monitoring daily precipitation; (2) CHIRPS, PERSIANN, and Era 5 for monitoring precipitation in long climate periods; (3) Era 5, SMAP and GLDAS to acquire ground humidity data; (4) Landsat, MODIS and Era 5 for temperature data; (5) Era 5, Merra-2 and Terra- EOS-AIRS to identify the intensity and direction of the wind and the transported particles. In

turn, satellites such as (6) Landsat and Sentinel-2 allow the changes in land coverage; (8) and Sentinel-1 land displacements in seismic situations to be identified. The policy of free and open access to exposed satellite resources promotes their incorporation as monitoring tools in preventive conservation plans.

The correct choice of satellite resources depends on the necessities of spatial resolution, temporal resolution and differences displayed between passive and active satellites and calculated algorithms. Scale is a very important issue in remote sensing that is closely related to the resolution of satellites and the objectives of a study (Weng, 2014). Thus, analyzing anthropogenic changes in land cover requires satellite resources with higher spatial resolution, while analyzing climatic variables requires higher temporal resolution. Generally, opting for a higher spatial resolution also implies having a lower temporal resolution and vice versa.

For monitoring meteorological variables and the study of the consequences of climate change in heritage structures, statistical analysis methodologies of historical series of satellite images are required. The Google Earth Engine is the most recommended software due to the high capacity for working in the cloud on a petabyte scale with geospatial data that it offers. This software offers a free access technical solution for the development of this type of study.

In the case of rammed earth fortifications in Andalusia, the application of statistical studies on the satellite series GPM, MODIS and GLDAS have allowed three areas with discernible dangers to be identified: the Almería area which is more prone to droughts and erosive winds; the Cadiz-Málaga area with a higher level of danger from rain and subsoil humidity; the rest of Andalusia with average levels of danger from rain, wind and drought. Future studies should carry out a comparison of the data obtained by satellite resources and ground stations to develop methodologies that enable optimal use of satellite resources in the monitoring of heritage landscapes.

Acknowledgment:

This study has been carried out thanks to the methodology supported by the projects: Art-Risk (RETOS project of Ministerio de Economía y Competitividad and Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), code: BIA2015-64878-R (MINECO/FEDER, UE)), Art-Risk cooperación: Conservación preventiva frente a rehabilitación de urgencia del Patrimonio Arquitectónico mediante Investigación sobre Riesgos y Vulnerabilidad frente al Cambio Climático, desastres naturales y antrópicos (project of Consejería de Fomento, Infraestructuras y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía UPO-03), FENIX (project of Ministerio de Ciencia e Innovación, Programas Estatales de Generación de Conocimiento y Fortalecimiento

Científico y Tecnológico del Sistema de I+D+i, code: PID2019-107257RB-I00), Diagnóstico y Catalogación del Patrimonio Arquitectónico Andaluz mediante Análisis de Riesgos y vulnerabilidad (project of Consejería de fomento, infraestructuras y ordenación del territorio de la Junta de Andalucía UPO.20-01), RESILIENT-TOURISM, CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL, project of Consejería de Transformación Económica, Industria, Conocimiento y Universidades, de la Junta de Andalucía PYC20 RE 034 UPO , the research teams TEP-199 and Sanit-ARTE laboratory. The Art-Risk methodology has been awarded the Europa Nostra 2020 prize. M. Moreno is grateful to the State Program for the Promotion of Talent and its Employability in R+D+i of Ministerio de Ciencia e Innovación of Spain for his technical fellowship (PTA2019-016882).

References

- ABATE, N., & LASAPONARA, R. (2019). Preventive archaeology based on open remote sensing data and tools: The cases of Sant'Arsenio (SA) and Foggia (FG), Italy. *Sustainability (Switzerland)*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/su11154145>
- AGAPIOU, A. (2017). Remote sensing heritage in a petabyte-scale: satellite data and heritage Earth Engine© applications. *International Journal of Digital Earth*, 10(1), 85–102. <https://doi.org/10.1080/17538947.2016.1250829>
- AGAPIOU, A., & LYSANDROU, V. (2021). Observing thermal conditions of historic buildings through earth observation data and big data engine. *Sensors*, 21(13). <https://doi.org/10.3390/S21134557>
- AGAPIOU, A., LYSANDROU, V., & HADJIMITSIS, D. G. (2020). Earth observation contribution to cultural heritage disaster risk management: Case study of eastern mediterranean open air archaeological monuments and sites. *Remote Sensing*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/RS12081330>
- ALAHACON, N., & EDIRISINGHE, M. (2021). Spatial Variability of Rainfall Trends in Sri Lanka from 1989 to 2019 as an Indication of Climate Change. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2021, 10(2): 84. <https://doi.org/10.3390/IJGI10020084>
- AONASHI, K., AWAKA, J., HIROSE, M., KOZU, T., KUBOTA, T., LIU, G., SHIGE, S., KIDA, S., SETO, S., TAKAHASHI, N., & TAKAYABU, Y. N. (2009). GSMaP Passive Microwave Precipitation Retrieval Algorithm: Algorithm Description and Validation. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Ser. II, 87A: 119–136. <https://doi.org/10.2151/JMSJ.87A.119>
- ARRIGONI, A., BECKETT, C., CIANCIO, D., & DOTELLI, G. (2017). Life cycle analysis of environmental impact vs. durability of stabilised rammed earth. *Construction and Building Materials*, 142: 128–136. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.03.066>
- ASHOURI, H., HSU, K. L., SOROOSHIAN, S., BRAITHWAITE, D. K., KNAPP, K. R., CECIL, L. D., NELSON, B. R., & PRAT, O. P. (2015a). PERSIANN-CDR: Daily Precipitation Climate Data Record from Multisatellite Observations for Hydrological and Climate Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(1): 69–83. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00068.1>
- ASHOURI, H., HSU, K. L., SOROOSHIAN, S., BRAITHWAITE, D. K., KNAPP, K. R., CECIL, L. D., NELSON, B. R., & PRAT, O. P. (2015b). PERSIANN-CDR: Daily Precipitation Climate Data Record from Multisatellite Observations for Hydrological and Climate Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(1): 69–83. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00068.1>
- ÁVILA, F., PUERTAS, E., & GALLEGO, R. (2021). Characterization of the mechanical and physical properties of unstabilized rammed earth: A review. *Construction and Building Materials*, 270, 121435. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.121435>
- AVRAM, E., GUILLAUD, H., & HARDY, M. (2001). Characterization of Earthen Materials, in Terra Literature Review. An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation.
- AWANGE, J., & KIEMA, J. (2019). *Fundamentals of Remote Sensing*, 115–123. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03017-9_7
- BECKETT, C. T. S., JAQUIN, P. A., & MOREL, J. C. (2020). Weathering the storm: A framework to assess the resistance of earthen structures to water damage. *Construction and Building Materials*, 242, 118098. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.118098>
- BISQUERT, M., SÁNCHEZ, J. M., & CASELLES, V. (2014). Modeling Fire Danger in Galicia and Asturias (Spain) from MODIS Images. *Remote Sensing*, 6(1): 540–554. <https://doi.org/10.3390/RS6010540>
- BUI, Q. B., MOREL, J. C., VENKATARAMA REDDY, B. V., & GHAYAD, W. (2009). Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering. *Building and Environment*, 44(5): 912–919. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2008.07.001>
- BUI, QUOC BAO, MOREL, J. C., HANS, S., & WALKER, P. (2014a). Effect of moisture content on the mechanical characteristics of rammed earth. *Construction and Building Materials*, 54: 163–169. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.12.067>
- BUI, QUOC BAO, MOREL, J. C., HANS, S., & WALKER, P. (2014b). Effect of moisture content on the mechanical characteristics of rammed earth. *Construction and Building Materials*, 54: 163–169. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.12.067>
- CAI, J., ZHANG, Y., LI, Y., SAN LIANG, X., & JIANG, T. (2017). Analyzing the Characteristics of Soil Moisture Using GLDAS Data: A Case Study in Eastern China. *Applied Sciences* 7(6): 566. <https://doi.org/10.3390/APP7060566>
- CANIVEL, J., & GRACIANI, A. (2012). *Critical analysis of interventions in historical rammed-earth walls. Military buildings in the ancient Kingdom of Seville*. In Mileto C., Vegas F., & Cristini V. (Eds.), *Rammed Earth Conservation*, Taylor & Francis Group, 289–295.
- CANIVELL GARCÍA DE PAREDES, J. (2011). *Metodología de diagnóstico y caracterización de fábricas históricas de tapia = Methodology for*

diagnosis and characterization of historical rammed-earth walls.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=24661&info=resume&idioma=SPA>

CHEN, F., LASAPONARA, R., & MASINI, N. (2017). An overview of satellite synthetic aperture radar remote sensing in archaeology: From site detection to monitoring. *Journal of Cultural Heritage*, 23: 5–11. <https://doi.org/10.1016/J.CULHER.2015.05.003>

CHEN, F., ZHOU, W., XU, H., PARCHARIDIS, I., LIN, H., & FANG, C. (2020). Space Technology Facilitates the Preventive Monitoring and Preservation of the Great Wall of the Ming Dynasty: A Comparative Study of the Qingtongxia and Zhangjiakou Sections in China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13: 5719–5729. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3023297>

CHUVIECO, E. (2016). Fundamentals of satellite remote sensing: An environmental approach. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=-nCmCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=CHUVIECO,+E.+y+HUETE,+A.+2016.+Fundamentals+of+satellite+remote+sensing,+Boca+Raton,+436+pp.&ots=H5bE48vBCx&sig=9xuUxZa-JG1ybjXzMtqsNkw6i0g>

CHUVIECO, & EMILIO. (2007). Mirar desde el espacio o mirar hacia otro lado: tendencias en teledetección. In *Documents d'Anàlisi Geogràfica* (Issue 50). <https://www.raco.cat/index.php/DocumentsAnalisi/article/view/86622>

COOK, M., SCHOTT, J. R., MANDEL, J., & RAQUENO, N. (2014a). Development of an Operational Calibration Methodology for the Landsat Thermal Data Archive and Initial Testing of the Atmospheric Compensation Component of a Land Surface Temperature (LST) Product from the Archive. *Remote Sensing* 6(11): 11244–11266. <https://doi.org/10.3390/RS6111244>

COOK, M., SCHOTT, J. R., MANDEL, J., & RAQUENO, N. (2014b). Development of an Operational Calibration Methodology for the Landsat Thermal Data Archive and Initial Testing of the Atmospheric Compensation Component of a Land Surface Temperature (LST) Product from the Archive. *Remote Sensing* 6(11): 11244–11266. <https://doi.org/10.3390/RS6111244>

CORREIA, M., GUERRERO, L., & CROSBY, A. (2016). *Technical Strategies for Conservation of Earthen Archaeological Architecture*. 17(3): 224–256. <https://doi.org/10.1080/13505033.2015.1129799>

CUCA, B., & HADJIMITSIS, D. G. (2017). Space technology meets policy: An overview of Earth Observation sensors for monitoring of cultural landscapes within policy framework for Cultural Heritage. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 14: 727–733. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.05.001>

CUCCURULLO, A., GALLIPOLI, D., BRUNO, A. W., AUGARDE, C., HUGHES, P., & LA BORDERIE, C. (2021). A comparative study of the effects of particle grading and compaction effort on the strength and stiffness of earth building materials at different humidity levels. *Construction and Building Materials*, 306, 124770. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.124770>

ELFADALY, A., & LASAPONARA, R. (2019). On the use of satellite imagery and GIS tools to detect and characterize the urbanization around heritage sites: The case studies of the Catacombs of Mustafa Kamel in Alexandria, Egypt and the Aragonese Castle in Baia, Italy. *Sustainability* (Switzerland), 11(7). <https://doi.org/10.3390/SU11072110>

ELFADALY, A., Wafa, O., ABOUARAB, M. A. R., GUIDA, A., SPANU, P. G., & LASAPONARA, R. (2017). Geo-environmental estimation of land use changes and its effects on Egyptian temples at Luxor City. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(11). <https://doi.org/10.3390/ijgi6110378>

ENTEKHABI, D., NJOKU, E. G., O'NEILL, P. E., KELLOGG, K. H., CROW, W. T., EDELSTEIN, W. N., ENTIN, J. K., GOODMAN, S. D., JACKSON, T. J., JOHNSON, J., KIMBALL, J., PIEPMEIER, J. R., KOSTER, R. D., MARTIN, N., MCDONALD, K. C., MOGHADDAM, M., MORAN, S., REICHLER, R., SHI, J. C., ... VAN ZYL, J. (2010). The soil moisture active passive (SMAP) mission. *Proceedings of the IEEE*, 98(5): 704–716. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2010.2043918>

FALCÓN, M. M., & RUZ, R. D. (2020). PATRIMONIALIZACIÓN DE ARCHIVOS Y BIBLIOTECAS HISTÓRICOS UNIVERSITARIOS: EL CASO DE LA COLECCIÓN WORMALD DE LA UNIVERSIDAD DE TARAPACÁ. *Revista de Historia Social y de Las Mentalidades*, 24(2): 265–290. <https://doi.org/10.35588/RHSM.V24I2.4251>

FEDONIUK, M. A., KOVALCHUK, I. P., FESYUK, V. O., KIRCHUK, R. V., MERLENKO, I. M., & BONDARCHUK, S. P. (2021). Differences in the assessment of vegetation indexes in the EO-Browser and EOS landviewer services (on the example of Lutsk district lands). 20th International Conference Geoinformatics: *Theoretical and Applied Aspects*, 2021(1): 1–6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521134/CITE/REFWORKS>

FUNK, C., PETERSON, P., LANDSFELD, M., PEDREROS, D., DATA, J. V.-S., & 2015, U. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Nature. Com.* <https://www.nature.com/articles/sdata201566>.

GANDREAU, D., & DELBOY, L. (2012). *World heritage inventory of earthen architecture*, 2012 (Crat. UNESCO (ed.)). CRATerre-ENSAG.

GARCÍA-SORIANO, L., & MILETO, C. (2015). Intervention construction techniques in monumental rammed earth architecture in Spain through ministry archives (1980–2013). *Building Materials*, IV, 3–6.

GEER, A. J., BAORDO, F., BORMANN, N., CHAMBON, P., ENGLISH, S. J., KAZUMORI, M., LAWRENCE, H., LEAN, P., LONITZA, K., & LUPU, C. (2017). The growing impact of satellite observations sensitive to humidity, cloud and precipitation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 143(709): 3189–3206. <https://doi.org/10.1002/QJ.3172>

GERARD, P., MAHDAD, M., ROBERT MCCORMACK, A., & FRANÇOIS, B. (2015). A unified failure criterion for unstabilized rammed earth materials upon varying relative humidity conditions. *Construction and Building Materials*, 95: 437–447. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.07.100>

- GHANE EZABADIA, N., AJDAR, S., & JAMALI, A. A. (2021). Analysis of dust changes using satellite images in Giovanni NASA and Sentinel-5P in Google Earth Engine in western Iran. *JOURNAL OF NATURE AND SPATIAL SCIENCES*, 1(1): 17–26. <https://doi.org/10.30495/jonass.2021.680327>
- GHAZAL, N. K. (2020). Monitoring dust storm using normalized difference dust index (NDDI) and brightness temperature variation in Simi arid areas over Iraq. *Iraqi Journal of Physics*, 18(45): 68–75. <https://doi.org/10.30723/ijp.18.45.68-75>
- GIUFFRIDA, G., CAPONETTO, R., & NOCERA, F. (2019). Hygrothermal properties of raw earth materials: A literature review. In *Sustainability (Switzerland)* 11(19): 5342. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*. <https://doi.org/10.3390/su11195342>
- GOMES, M. I., GONÇALVES, T. D., & FARIA, P. (2014). Unstabilized rammed earth: Characterization of material collected from old constructions in south portugal and comparison to normative requirements. *International Journal of Architectural Heritage*, 8(2): 185–212. <https://doi.org/10.1080/15583058.2012.683133>
- GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D., & MOORE, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202: 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- GU, Y., BROWN, J. F., VERDIN, J. P., & WARDLOW, B. (2007). A five-year analysis of MODIS NDMI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophysical Research Letters*, 34(6): L06407. <https://doi.org/10.1029/2006GL029127>
- GUTIÉRREZ-CARRILLO, M. L., GUERRERO DELGADO, MC. C., SÁNCHEZ RAMOS, J., ARCO DÍAZ, J., BESTUÉ CARDIEL, I., & ÁLVAREZ DOMÍNGUEZ, S. (2021). Mitigating damage on heritage structures by continuous conservation using thermal real-time monitoring. Case study of Ziri Wall, city of Granada, Spain. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126522. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126522>
- HADJIMITSIS, D., AGAPIOU, A., ALEXAKIS, D., & SARRIS, A. (2013). Exploring natural and anthropogenic risk for cultural heritage in Cyprus using remote sensing and GIS. *International Journal of Digital Earth*, 6(2): 115–142. <https://doi.org/10.1080/17538947.2011.602119>
- HADJIMITSIS, D. G., THEMISTOCLEOUS, K., CUCA, B., AGAPIOU, A., LYSANDROU, V., LASAPONARA, R., MASINI, N., & SCHREIER, G. (2020). *Remote Sensing for Archaeology and Cultural Landscapes: Best Practices and Perspectives Across Europe and the Middle East* (T. K. Cuca Branka, A. A. Lysandrou Vasiliki, L. R. Masini Nicola, & Schreier Gunter (eds.) <http://www.springer.com/series/10182>
- HAMARD, E., CAMMAS, C., FABBRI, A., RAZAKAMANANTSOA, A., CAZACLIU, B., & MOREL, J. C. (2016). *Historical Rammed Earth Process Description Thanks to Micromorphological Analysis*, 11(3): 314–323. <https://doi.org/10.1080/15583058.2016.1222462>
- HAMARD, E., CAMMAS, C., LEMERCIER, B., CAZACLIU, B., & MOREL, J. C. (2020). Micromorphological description of vernacular cob process and comparison with rammed earth. *Frontiers of Architectural Research*, 9(1): 203–215. <https://doi.org/10.1016/J.FOAR.2019.06.007>
- HART, S., RAYMOND, K., WILLIAMS, C. J., JOHNSON, J., DEGAYNER, J., & GUEBARD, M. C. (2021). Precipitation impacts on earthen architecture for better implementation of cultural resource management in the US Southwest. *Heritage Science*, 9(1): 1–18. <https://doi.org/10.1186/s40494-021-00615-z>
- HERSBACH, H., BELL, B., BERRISFORD, P., HIRAHARA, S., HORÁNYI, A., MUÑOZ-SABATER, J., NICOLAS, J., PEUBEY, C., RADU, R., SCHEPERS, D., SIMMONS, A., SOCI, C., ABDALLA, S., ABELLAN, X., BALSAMO, G., BECHTOLD, P., BIAVATI, G., BIDLOT, J., BONAVIDA, M., ... THÉPAUT, J. N. (2020a). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730): 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/QJ.3803>
- HERSBACH, H., BELL, B., BERRISFORD, P., HIRAHARA, S., HORÁNYI, A., MUÑOZ-SABATER, J., NICOLAS, J., PEUBEY, C., RADU, R., SCHEPERS, D., SIMMONS, A., SOCI, C., ABDALLA, S., ABELLAN, X., BALSAMO, G., BECHTOLD, P., BIAVATI, G., BIDLOT, J., BONAVIDA, M., ... THÉPAUT, J. N. (2020b). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730): 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/QJ.3803>
- HSU, J., HUANG, W. R., LIU, P. Y., & LI, X. (2021). Validation of CHIRPS Precipitation Estimates over Taiwan at Multiple Timescales. *Remote Sensing* 13(2): 254. <https://doi.org/10.3390/RS13020254>
- HUNTINGTON, J. L., HEGEWISCH, K. C., DAUDERT, B., MORTON, C. G., ABATZOGLOU, J. T., MCEVOY, D. J., & ERICKSON, T. (2017). Climate Engine: Cloud Computing and Visualization of Climate and Remote Sensing Data for Advanced Natural Resource Monitoring and Process Understanding. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(11): 2397–2410. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00324.1>
- IADANZA, C., CACACE, C., DEL CONTE, S., SPIZZICHINO, D., CESPA, S., & TRIGILA, A. (2013). Cultural Heritage, Landslide Risk and Remote Sensing in Italy. *Landslide Science and Practice: Risk Assessment, Management and Mitigation*, 6: 491–499. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31319-6_65
- Instituto Andaluz del patrimonio Histórico [IAPH] (s.f) *Guía Digital del Patrimonio Cultural de Andalucía* <https://guiadigital.iaph.es/>
- JAMALI, A. A., GHORBANI KALKHAJEH, R., RANDHIR, T. O., & HE, S. (2022). Modeling relationship between land surface temperature anomaly and environmental factors using GEE and Giovanni. *Journal of Environmental Management*, 302, 113970. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.113970>
- JAQUIN, P. A., AUGARDE, C. E., & GERRARD, C. M. (2008). *Chronological Description of the Spatial Development of Rammed Earth Techniques*. <http://Dx.Doi.Org/10.1080/15583050801958826>, 2(4): 377–400. <https://doi.org/10.1080/15583050801958826>
- JIMÉNEZ DELGADO, M. C., & GUERRERO, I. C. (2007). The selection of soils for unstabilised earth building: A normative review. In *Construction and Building Materials* 21(2): 237–251. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.08.006>
- KARIYAWASAM, K. K. G. K. D., & JAYASINGHE, C. (2016). Cement stabilized rammed earth as a sustainable construction material.

- Construction and Building Materials*, 105: 519–527. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.12.189>
- KIM, Y., VAN ZYL, J. J., CHARBONNEAU, F., TRUDEL, M., & FERNANDES, R. (2009). A Time-Series Approach to Estimate Soil Moisture Using Polarimetric Radar Data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens*, 47: 15–17.
- KOSTA, A., PARASKEVOPOULOS, I., AGAPIOU, A., BATTISTIN, F., SERPETTI, M., WALDOCH, F., RAÇZKOWSKI, W., IORIO, A. DI, ANGELI, S. DE, & HADJIMITSIS, D. (2020a). *Remote sensing techniques for archaeology: a state of art analysis of SAR methods for land movement*. <https://doi.org/10.1117/12.2571722>, 11524: 105–119. <https://doi.org/10.1117/12.2571722>
- KOSTA, A., PARASKEVOPOULOS, I., AGAPIOU, A., BATTISTIN, F., SERPETTI, M., WALDOCH, F., RAÇZKOWSKI, W., IORIO, A. DI, ANGELI, S. DE, & HADJIMITSIS, D. (2020b). *Remote sensing techniques for archaeology: a state of art analysis of SAR methods for land movement*. <https://doi.org/10.1117/12.2571722>, 11524: 105–119. <https://doi.org/10.1117/12.2571722>
- KUBOTA, T., AONASHI, K., USHIO, T., SHIGE, S., TAKAYABU, Y. N., ARAI, Y., TASHIMA, T., KACHI, M., & OKI, R. (2017). Recent progress in global satellite mapping of precipitation (GSMAP) product. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2017-July, 2712–2715. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2017.8127556>
- KUMAR, A., GIRI, R. K., TALOOR, A. K., & SINGH, A. K. (2021). Rainfall trend, variability and changes over the state of Punjab, India 1981–2020: A geospatial approach. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100595. <https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2021.100595>
- KUMAR, L., & MUTANGA, O. (2018). Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/rs10101509>
- LALOUI, L., NUTH, M., & FRANÇOIS, B. (2013). Mechanics of Unsaturated Soils. In *Mechanics of Unsaturated Geomaterials*, 29–54. <https://doi.org/10.1002/9781118616871.ch2>
- LASAPONARA, R., & MASINI, N. (2020). Big Earth Data for Cultural Heritage in the Copernicus Era. In *Remote Sensing for Archaeology and Cultural Landscapes*, 31–46. https://doi.org/10.1007/978-3-030-10979-0_3
- LIESKOVSKÝ, T., FAIXOVÁ CHALACHANOVÁ, J., LESSOVÁ, L., & HORŇÁK, M. (2018). Analysis of LiDAR data with low density in the context of its applicability for the cultural heritage documentation. *Advances and Trends in Geodesy, Cartography and Geoinformatics - Proceedings of the 10th International Scientific and Professional Conference on Geodesy, Cartography and Geoinformatics*, 191–196. <https://doi.org/10.1201/9780429505645-31/ANALYSIS-LIDAR-DATA-LOW-DENSITY-CONTEXT-APPLICABILITY-CULTURAL-HERITAGE-DOCUMENTATION-LIESKOVSKY-FAIXOVA-CHALACHANOVA-LESSOVA-HORNAK>
- LIU, J., FIFI, D., HAGAN, T., LIU, Y., LIU, J., HAGAN, D. F. T., & LIU, Y. (2020). Global Land Surface Temperature Change (2003–2017) and Its Relationship with Climate Drivers: AIRS, MODIS, and ERA5-Land Based Analysis. *Remote Sensing* 13(1), 44. <https://doi.org/10.3390/RS13010044>
- LOPEZ, T., AL BITAR, A., BIANCAMARIA, S., GÜNTNER, A., & JÄGGI, A. (2020). On the Use of Satellite Remote Sensing to Detect Floods and Droughts at Large Scales. *Surveys in Geophysics*, 41(6): 1461–1487. <https://doi.org/10.1007/S10712-020-09618-0>
- LUO, L., WANG, X., GUO, H., LASAPONARA, R., ZONG, X., MASINI, N., WANG, G., SHI, P., KHATTELI, H., CHEN, F., TARIQ, S., SHAO, J., BACHAGHA, N., YANG, R., & YAO, Y. (2019a). Airborne and spaceborne remote sensing for archaeological and cultural heritage applications: A review of the century (1907–2017). *Remote Sensing of Environment*, 232(March), 111280. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111280>
- LUO, L., WANG, X., GUO, H., LASAPONARA, R., ZONG, X., MASINI, N., WANG, G., SHI, P., KHATTELI, H., CHEN, F., TARIQ, S., SHAO, J., BACHAGHA, N., YANG, R., & YAO, Y. (2019b). Airborne and spaceborne remote sensing for archaeological and cultural heritage applications: A review of the century (1907–2017). *Remote Sensing of Environment*, 232. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111280>
- MA, Y., WU, H., WANG, L., HUANG, B., RANJAN, R., ZOMAYA, A., & JIE, W. (2015). Remote sensing big data computing: Challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems*, 51: 47–60. <https://doi.org/10.1016/j.future.2014.10.029>
- MARTÍN-DEL-RIO, J. J., FLORES-ALÉS, V., ALEJANDRE-SÁNCHEZ, F. J., & BLASCO-LÓPEZ, F. J. (2018). New Method for Historic Rammed-earth Wall Characterization: *The Almohade Ramparts of Malaga and Seville*. <https://doi.org/10.1080/00393630.2018.1544429>, 64(6): 363–372. <https://doi.org/10.1080/00393630.2018.1544429>
- MCGARRAGH, G., POULSEN, C., POVEY, A., THOMAS, G., CHRISTENSEN, M., SUS, O., SCHLUNDT, C., STAPELBERG, S., STENGEL, M., GRAINGER, D., MCGARRAGH, G., POULSEN, C., POVEY, A., THOMAS, G., CHRISTENSEN, M., SUS, O., SCHLUNDT, C., STAPELBERG, S., STENGEL, M., & GRAINGER, D. (2015). SNAP (Sentinel Application Platform) and the ESA Sentinel 3 Toolbox. *ESASP*, 734, 21. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2015ESASP.734E..21Z/abstract>
- MILETO, C., & VEGAS, F. (2013). *La restauración de la tapia en la Península Ibérica. Criterios, técnicas, resultados y perspectivas* (C. Mileto & F. Vegas (eds.)). https://www.academia.edu/39838538/La_restauración_de_la_tapia_en_la_Península_Ibérica_Criterios_técnicos_resultados_y_perspectivas
- MOREL, J. C., BUI, Q. B., & HAMARD, E. (2012). Weathering and durability of earthen material and structures. In *Modern Earth Buildings: Materials, Engineering, Constructions and Applications*, 282–303. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857096166.2.282>
- MORENO, A. S. (1997). *Estudios especiales de caracterización geotécnica y refuerzo del terreno*. http://www.alhambra-patronato.es/ria/bitstream/handle/10514/14147/4_encriptado.pdf?sequence=3
- MORENO, M., BERTOLIN, CH., ORTIZ, & R. ORTIZ, P. (2022). SSatellite product to map drought and extreme precipitation trend in

- Andalusia, Spain: A novel method to assess heritage landscapes at risk. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 110. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102810>
- MORENO FALCÓN, M., ORTIZ CALDERÓN, R., & ORTIZ CALDERÓN, P. (2021). Incendios en paisajes patrimoniales naturales: análisis y evaluación de riesgos en fortificaciones mediante el uso del Global Wildfire Information System. *Revista PH*, Iaph, 413–419. <https://doi.org/10.33349/2021.104.4976>
- MORENO, M., ORTIZ, P., & ORTIZ, R. (2019). Vulnerability study of earth walls in urban fortifications using cause-effect matrixes and gis: The case of seville, carmona and estepa defensive fences. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 19(3): 119–138. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3583063>
- MOTA-LÓPEZ, M. I., MADERUELO-SANZ, R., PASTOR-VALLE, J. D., MENESES-RODRÍGUEZ, J. M., & ROMERO-CASADO, A. (2021). Analytical characterization of the almohad rammed-earth wall of Cáceres, Spain. *Construction and Building Materials*, 273. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121676>
- MUÑOZ-SABATER, J., DUTRA, E., AGUSTÍ-PANAREDA, A., ALBERGEL, C., ARDUINI, G., BALSAMO, G., BOUSSETTA, S., CHOULGA, M., HARRIGAN, S., HERSBACH, H., MARTENS, B., MIRALLES, D. G., PILES, M., RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, N. J., ZSOTER, E., BUONTEMPO, C., & THÉPAUT, J. N. (2021). ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*, 13(9): 4349–4383. <https://doi.org/10.5194/ESSD-13-4349-2021>
- MUTANGA, O., & KUMAR, L. (2019). Google Earth Engine Applications. *Remote Sensing*, 11(5): 591. <https://doi.org/10.3390/rs11050591>
- NIROUMAND, H., AKBARI, R., KHANLARI, K., GÜLTEKIN, A. B., & BARCELO, J. A. (2021). A Systematic Literature Review of Rammed Earth Walls. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 58(4): 295–301. <https://doi.org/10.1007/S11204-021-09742-Y>
- OLIVEIRA, M. L. S., DARIO, C., TUTIKIAN, B. F., EHRENBRING, H. Z., ALMEIDA, C. C. O., & SILVA, L. F. O. (2019). Historic building materials from Alhambra: Nanoparticles and global climate change effects. *Journal of Cleaner Production*, 232: 751–758. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.06.019>
- ONTIVEROS ORTEGA, E., SEBASTIAN PARDO, E., VALVERDE ESPINOSA, I., & GALLEGO ROCA, I. (2008). Estudio de los materiales de construcción de las murallas del Albayzín (Granada). *PH Boletín Del Instituto Andaluz Del Patrimonio Histórico*, 66: 32–47.
- OTCOVSKÁ, T. P., MUŽÍKOVÁ, B., & PADEVĚT, P. (2019). MECHANICAL PROPERTIES OF RAMMED EARTH WITH RESPECT TO CLAY MIXTURE COMPOSITION. *Acta Polytechnica*, 59(4): 372–383. <https://doi.org/10.14311/AP2019.59.0372>
- PAUPORTÉ, E., & SGAMBI, L. (2019). Vulnerability of earth material to water: A state of the art. Structures and Architecture: Bridging the Gap and Crossing Borders - *Proceedings of the 4th International Conference on Structures and Architecture*, ICSA, 123–1130. <https://doi.org/10.1201/9781315229126-134/VULNERABILITY-EARTH-MATERIAL-WATER-STATE-ART-PAUPORT>
- PEREZ, C., & MUÑOZ, A. (2006). *Teledetección: nociones y aplicaciones*. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=SfrGxbO1DT0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Perez,+C.,+%26+Muñoz,+A.+L.+\(2006\).+Tele+detección:+nociones+y+aplicaciones&ots=pFeeWv5hHX&sig=dO-lwagLtlF63jiX0CbF7yHI7_Yk](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=SfrGxbO1DT0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Perez,+C.,+%26+Muñoz,+A.+L.+(2006).+Tele+detección:+nociones+y+aplicaciones&ots=pFeeWv5hHX&sig=dO-lwagLtlF63jiX0CbF7yHI7_Yk)
- QUINTERO, N., VIEDMA, O., URBIETA, I. R., & MORENO, J. M. (2019). Assessing Landscape Fire Hazard by Multitemporal Automatic Classification of Landsat Time Series Using the Google Earth Engine in West-Central Spain. *Forests*, 10(6): 518. <https://doi.org/10.3390/F10060518>
- REDDI, L. N., JAIN, A. K., & YUN, H. B. (2012). Soil materials for earth construction: Properties, classification and suitability testing. In *Modern Earth Buildings: Materials, Engineering, Constructions and Applications* 155–171. <https://doi.org/10.1533/9780857096166.2.155>
- RETALIS, A., KATSANOS, D., MICHAELIDES, S., & TYMVIOS, F. (2022). Evaluation of high-resolution satellite precipitation data over the Mediterranean Region. *Precipitation Science*, 159–175. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822973-6.00017-2>
- RICHARDS, J., ZHAO, G., ZHANG, H., & VILES, H. (2019). A controlled field experiment to investigate the deterioration of earthen heritage by wind and rain. *Heritage Science*, 7(1): 1–13. <https://doi.org/10.1186/S40494-019-0293-7/FIGURES/6>
- RICHARDS, JENNY, VILES, H., & GUO, Q. (2020). The importance of wind as a driver of earthen heritage deterioration in dryland environments. *Geomorphology*, 369, 107363. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2020.107363>
- RODRÍGUEZ-GONZÁLVIZ, P., FERNÁNDEZ-PALACIOS, B. J., MUÑOZ-NIETO, ÁNGEL L., ARIAS-SANCHEZ, P., & GONZALEZ-AGUILERA, D. (2017). Mobile LiDAR System: New Possibilities for the Documentation and Dissemination of Large Cultural Heritage Sites. *Remote Sensing* 9(3): 189. <https://doi.org/10.3390/RS9030189>
- RODRÍGUEZ PÉREZ, D., SÁNCHEZ CARNERO, N., DOMÍNGUEZ GÓMEZ, J. A., & MARTA PASTRANA, C. (2015). *Cuestiones de teledetección* (UNED (ed.))
- RUFIN, P., RABE, A., NILL, L., & HOSTERT, P. (n.d.). *GEE TIMESERIES EXPLORER FOR QGIS-INSTANT ACCESS TO PETABYTES OF EARTH OBSERVATION DATA*. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W2-2021-155-2021>
- SANTOS, C. A. G., BRASIL NETO, R. M., NASCIMENTO, T. V. M. DO, SILVA, R. M. DA, MISHRA, M., & FRADE, T. G. (2021). Geospatial drought severity analysis based on PERSIANN-CDR-estimated rainfall data for Odisha state in India (1983–2018). *Science of The Total Environment*, 750:141258. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.141258>
- SARIKHANI, A., DEGHANI, M., KARIMI-JASHNI, A., & SAADAT, S. (2021). A New Approach for Dust Storm Detection Using MODIS Data. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, 45(2): 963–969. <https://doi.org/10.1007/S40996-020-00508-4/TABLES/1>

SERRANO-CHACÓN, Á. R., MASCORT-ALBEA, E. J., CANIVELL, J., ROMERO-HERNÁNDEZ, R., & JARAMILLO-MORILLA, A. (2021). Multi-Criteria Parametric Verifications for Stability Diagnosis of Rammed-Earth Historic Urban Ramparts Working as Retaining Walls. *Applied Sciences*, 11(6): 2744. <https://doi.org/10.3390/APP11062744>

SHEN, Z., YONG, B., GOURLEY, J. J., QI, W., LU, D., LIU, J., REN, L., HONG, Y., & ZHANG, J. (2020). Recent global performance of the Climate Hazards group Infrared Precipitation (CHIRP) with Stations (CHIRPS). *Journal of Hydrology*, 591, 125284. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2020.125284>

SOBRINO, J. (2001). *Teledetección*. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Yb6xIldfoT0C&oi=fnd&pg=PA73&dq=Sobrino,+J.+A.+\(2001\).+Teledetección.+Universitat+de+Valencia.&ots=oTwCuqKD1m&sig=2gIM3L8U81oopLjZYwx0-MCcmU](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Yb6xIldfoT0C&oi=fnd&pg=PA73&dq=Sobrino,+J.+A.+(2001).+Teledetección.+Universitat+de+Valencia.&ots=oTwCuqKD1m&sig=2gIM3L8U81oopLjZYwx0-MCcmU)

SUN, Q., MIAO, C., DUAN, Q., ASHOURI, H., SOROOSHIAN, S., & HSU, K.-L. (2018). A Review of Global Precipitation Data Sets: Data Sources, Estimation, and Intercomparisons. *Reviews of Geophysics*, 56(1): 79–107. <https://doi.org/10.1002/2017RG000574>

TANG, G., CLARK, M. P., PAPAEXIOU, S. M., MA, Z., & HONG, Y. (2020). Have satellite precipitation products improved over last two decades? A comprehensive comparison of GPM IMERG with nine satellite and reanalysis datasets. *Remote Sensing of Environment*, 240, 111697. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2020.111697>

TAPETE, D., & CIGNA, F. (2017a). Trends and perspectives of spaceborne SAR remote sensing for archaeological landscape and cultural heritage applications. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 14: 716–726. <https://doi.org/10.1016/J.JASREP.2016.07.017>

TAPETE, D., & CIGNA, F. (2017b). Trends and perspectives of spaceborne SAR remote sensing for archaeological landscape and cultural heritage applications. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 14: 716–726. <https://doi.org/10.1016/J.JASREP.2016.07.017>

TETZNER, D., THOMAS, E., & ALLEN, C. (2019). A Validation of ERA5 Reanalysis Data in the Southern Antarctic Peninsula—Ellsworth Land Region, and Its Implications for Ice Core Studies. *Geosciences*, 9(7): 289. <https://doi.org/10.3390/GEOSCIENCES9070289>

THEMISTOCLEOUS, K., & DANEZIS, C. (2020a). *Monitoring Cultural Heritage Sites Affected by Geo-Hazards Using In Situ and SAR Data: The Choirokoitia Case Study*. 285–308. https://doi.org/10.1007/978-3-030-10979-0_16

THEMISTOCLEOUS, K., & DANEZIS, C. (2020b). *Monitoring Cultural Heritage Sites Affected by Geo-Hazards Using In Situ and SAR Data: The Choirokoitia Case Study*. 285–308. https://doi.org/10.1007/978-3-030-10979-0_16

TITOLO, A. (2021). Use of Time-Series NDWI to Monitor Emerging Archaeological Sites: Case Studies from Iraqi Artificial Reservoirs. *Remote Sensing*, 13(4): 786. <https://doi.org/10.3390/rs13040786>

TRIER, Ø. D., REKSTEN, J. H., & LØSETH, K. (2021). Automated mapping of cultural heritage in Norway from airborne lidar data using

faster R-CNN. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 95, 102241. <https://doi.org/10.1016/J.JAG.2020.102241>

VILLACRESES, J. P., GRANADOS, J., CAICEDO, B., TORRES-RODAS, P., & YÉPEZ, F. (2021). Seismic and hydromechanical performance of rammed earth walls under changing environmental conditions. *Construction and Building Materials*, 300, 124331. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.124331>

WELLMANN, T., SCHUG, F., HAASE, D., PFLUGMACHER, D., & VAN DER LINDEN, S. (2020). Green growth? On the relation between population density, land use and vegetation cover fractions in a city using a 30-years Landsat time series. *Landscape and Urban Planning*, 202, 103857. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2020.103857>

WENG, Q. (2014). *Scale issues in remote sensing*. John Wiley & Sons. ISBN: 1-118-80162-8.

XIE, Y., ZHANG, W., & QU, J. J. (2017). Detection of Asian Dust Storm Using MODIS Measurements. *Remote Sensing*, 9(8), 869. <https://doi.org/10.3390/RS9080869>

ZHANG, X., ZHANG, T., ZHOU, P., SHAO, Y., & GAO, S. (2017). Validation Analysis of SMAP and AMSR2 Soil Moisture Products over the United States Using Ground-Based Measurements. *Remote Sensing*, 9(2), 104. <https://doi.org/10.3390/RS9020104>

Author/es



Mónica Moreno

mmorfal@upo.es

Pablo de Olavide University

<https://orcid.org/0000-0003-1178-1546>

Degree in History and Master in Diagnosis of the state of conservation of historical heritage. She has also a master in TIG: Geographic information systems and remote sensing, and she is currently a doctoral student. She belongs to the research group of the Junta de Andalucía Heritage, Technology and Environment. Her research activity is focused on the use of GIS and remote sensing to assess risks and vulnerability in Heritage landscapes. As a professional, she currently works at the SanitArte laboratory at Pablo de Olavide University.



Rocío Ortiz Calderón

rortcal@upo.es

Pablo de Olavide University

<https://orcid.org/0000-0002-0249-8821>

Degree in Architecture and Master in Protection of Historical Heritage. In 2014, she obtained the title of Doctor with European mention at Pablo de Olavide University (Seville, Spain). She is

currently a professor at the UPO, director of the Master's Degree in Diagnosis of the State of Conservation of Historical Heritage and head of the Crystallography and Mineralogy Area of the same university. Dr. Ortiz's interests focus on studies of risk and vulnerability of Cultural Heritage, the use of georeferenced information for the study of Cultural Heritage, construction materials, urban planning plans and hazards, and innovation in science teaching with special emphasis on the diagnosis of Historical Heritage.



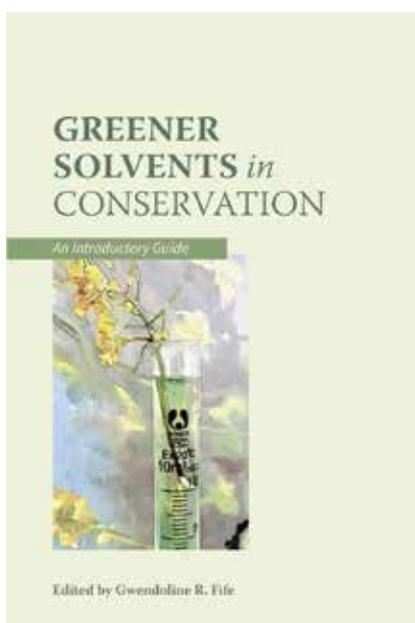
Doctor in Chemistry, professor in the Master of Diagnosis of the State of Conservation of Historical Heritage, Dean of the Faculty of Experimental Sciences of Pablo de Olavide University (Seville, Spain) and head of the research group of the Junta de Andalucía Heritage, Technology and Environment. The lines of research he directs are based on studies on risks and vulnerability of historical heritage, preventive conservation, non-destructive techniques and new technologies applied to the diagnosis of materials of artistic historical interest.

Artículo enviado el 21/05/2022
Artículo aceptado el 14/06/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1132>

Reseñas



Handbook: Greener Solvents in Conservation: An Introductory Guide

Editor: Gwendoline R. Fife
 Editorial: Archetype Pubns
 ISBN: 9781909492844

Dimensiones: 156 x 234mm
 Paginas: 88
 Ilustraciones:22
 Publicado: Diciembre 2021

Descarga gratuita en: <https://siconserve.wpengine.com/greener-solvents/greener-solvents-hand-book/>

Esta publicación es un manual/guía que aporta información para conservadores -restauradores a la hora de identificar los disolventes orgánicos más peligrosos en términos de seguridad, salud del trabajador/a y compatibilidad con el medio ambiente, siendo el objetivo principal eliminar su uso generalizado y dar las pautas generales para realizar una búsqueda de soluciones alternativas con disolventes ecológicos.

El manual se enmarca en el proyecto: "Sustainability in Conservation" fundado en 2016, que además del manual incluye una plataforma de investigación que promueve las investigaciones sobre el uso de disolventes ecológicos en conservación y difusión de resultados on line.

El manual se divide en tres capítulos, el primero aporta la definición de disolvente ecológico teniendo en cuenta que los parámetros que hacen que el disolvente sea ecológico deben hacer referencia, no solo a su uso, sino a los métodos para su producción y al tratamiento de los residuos que genere. En este primer capítulo se definen parámetros para evaluar la peligrosidad de los disolventes: EHS para la salud, LCA para el impacto de sus residuos sobre el medioambiente, una herramienta para el cálculo de la huella de carbono y el aporte de la ficha de seguridad del disolvente con los correspondientes pictogramas de peligrosidad y recomendaciones de uso y almacenamiento (<https://stich.culturalheritage.org/carbon-calculator/>), cálculo del tiempo de aplicación a través de la herramienta solvent star publicada en The Picture Restorer 56 (41-4), revista bianual de la asociación británica de conservadores-restauradores de pintura (BAPCR) y por último se hace referencia a las cuatro categorías de clasificación de disolventes (recomendado, problemático, peligroso y extremadamente peligroso)

definidas en la guía CHEM21, considerando criterios medioambientales, valores de exposición y salud (<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/GC/C5GC01008J>)

En el capítulo 2 se lleva a cabo una revisión histórica del uso de disolventes de baja toxicidad en conservación además de aportar una visión general de la regulación internacional para su uso.

El capítulo 3 describe una guía práctica para eliminar disolventes peligrosos en los trabajos de conservación, siguiendo tres pasos:

1-Evaluar la peligrosidad de los disolventes siguiendo los parámetros definidos en el capítulo 1

2-Búsqueda de opciones más ecológicas basándose en un solo disolvente como alternativa o mezcla de varios, este paso se apoya en la herramienta del triángulo de TEAS para la elección de la mezcla alternativa teniendo en cuenta los parámetros de solubilidad de los disolventes (HSP) y la proporción de estos en la mezcla.

3- Investigación y pruebas. Propone como último paso la prueba de la elección alternativa en obra real usando una metodología científica que permita evaluar las consecuencias de su uso sobre la obra (pruebas de solubilidad, evaluación del tiempo de aplicación del disolvente, modificaciones visuales...).

El manual aporta dos tablas con datos de parámetros de solubilidad, parámetros SHE, tasa de evaporación relativa (n-butilacetato), presión de vapor, punto de ebullición

y estructura de los disolventes orgánicos tradicionales, una tabla con un ejemplo de cálculo de parámetros de solubilidad en una mezcla de disolventes y triángulos de TEAS con la localización de los disolventes orgánicos tradicionales.

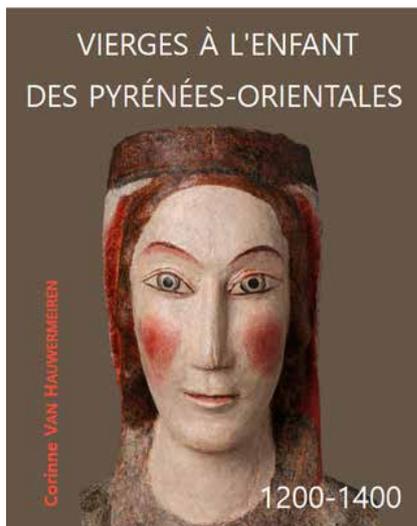
La bibliografía del manual cuenta con una extensa lista de referencias de regulaciones, de bases de datos y revisión de parámetros muy útiles a la hora de evaluar la toxicidad y compatibilidad de los disolventes orgánicos.



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1099>

Ruth Chércoles Asensio

Departamento de Pintura y Conservación-restauración.
Facultad de Bellas Artes.
Universidad Complutense de Madrid



Vierges à l'enfant des Pyrénées-Orientales. 1200-1400. Étude technique et stylistique

Corinne Van Hauwermeiren
Coedición: Conservart y la Universidad de Namur (Bélgica)
ISBN: 978-2-930022-08-6

Páginas: 280
Ilustraciones: color
Publicado: septiembre 2021

Web : vierges à l'enfant – vierges à l'enfant (viergesalenfant.com)

Esta publicación es el resultado del desarrollo de una investigación doctoral sobre la producción de las tallas policromadas de las Vírgenes en trono con Niño de la región del Rosellón, territorio históricamente perteneciente a la Corona de Aragón y a partir de mediados del s. XVII a Francia, donde se corresponde actualmente con el departamento de los Pirineos orientales.

C. Van Hauwermeiren, es doctora en Historia del Arte por la Universidad de Namur. Su interés por las esculturas marianas de los Pirineos orientales se remonta a 2008, cuando llevó a cabo unas prácticas en el Centro Departamental de Conservación-Restauración de Perpiñán (CCRP). En 2011 participó en el catálogo de la exposición "Romanes et Gothiques. Vierges à l'Enfant restaurées", que junto con el "Corpus des Vierges à l'Enfant (XII-Xvè s.) des Pyrenées-Orientales", publicado en 2013, constituyen los dos referentes inmediatos de esta investigación y la fuente primordial de una parte de la información.

La autora propone un estudio que conjuga el análisis estilístico y técnico. A los estudios en historia del arte añade datos científicos, geográficos y de historia material que enriquecen el conjunto y le permiten ofrecer otros puntos de vista. El libro se estructura en cinco capítulos principales. En el primero C. van Hauwermeiren aborda de manera detallada y siguiendo un criterio cronológico la historiografía de las obras objeto del estudio. Expone el interés por el arte románico medieval de los Pirineos orientales a partir principalmente de la segunda mitad del s. XIX y el desarrollo de las investigaciones y de los estudios técnicos ya avanzado el siglo XX. Describe conceptos examinados por autores precedentes, tales

como la influencia monástica en la producción de las imágenes marianas, los agrupamientos en torno a ciertas obras señeras, o la devoción de las "vírgenes negras". Observa carencias generales, ligadas, por ejemplo, a la ausencia de análisis sobre las contingencias históricas de Cataluña, obviando la producción del otro lado de los Pirineos.

En el segundo capítulo, la autora, a partir de ciertas particularidades materiales, se interroga sobre aspectos significativos de estas tallas: la función de la cavidad excavada en el reverso, a menudo asimilada a la custodia de una reliquia o del acta de consagración; la disposición de estas vírgenes dentro del espacio eclesial, de forma aislada o en el seno de un programa iconográfico más complejo; su ubicación habitual en el templo o los cambios producidos en función del calendario litúrgico, etc. El estudio del trono y sus variantes le lleva a plantearse preguntas con respecto a la posible adaptación de la escultura no solo a los cambios de gusto a través de los siglos sino a condicionantes de tipo cultural o antropológico.

El tercer epígrafe se dedica al estudio material de las obras. Se centra fundamentalmente en el uso de la madera, el contexto geográfico forestal y su aprovechamiento, así como las esencias más utilizadas para la fabricación de estas esculturas (álamo, pino, nogal o sauce). Revisa sus dimensiones y las marcas de producción o ubicación. Examina el despiece de las obras, los ensamblajes, el tipo de vaciado, la presencia de telas, etc., para continuar con un análisis sucinto de la policromía a partir de los datos facilitados por los informes de restauración. El capítulo termina con la descripción del estado de conservación general de estas piezas, detallando las alteraciones más

frecuentes y los tratamientos que han sufrido a lo largo del tiempo, que revelan la evolución deontológica de la conservación-restauración y el dilema entre esta y la renovación de las imágenes culturales.

En el ensayo tipológico, C. van Hauwermwiren se cierne sobre la evolución de este tipo de imágenes, no exclusiva de la región de Cataluña, desde la representación de la Sedes Sapientiae frontal y rígida hasta la madre atenta y enternecida con un Niño Jesús cada vez más movido. El examen de las vestimentas le lleva a la noción de “reina de los cielos” e intercesora para con los fieles que le rezan y el estudio de la forma de los tronos le ayuda a establecer ciertas tipologías repetitivas.

En cuanto al apartado estilístico, la autora comienza con la citación crítica de los investigadores que han trabajado precedentemente en este tema y plantea una reflexión sobre cómo el grado de alteración de las obras puede influir de forma determinante en su estudio y atribución. Basándose en el anclaje cronológico y estilístico de cuatro tallas referenciales del corpus escultórico catalán, aborda el estudio estilístico sistemático de 148 Vírgenes con Niño y las clasifica en ocho grupos de producción, si bien algunas piezas quedan fuera de esta ordenación. Su horquilla cronológica comprende desde ca. 1200 hasta la 2ª ½ del s. XIV, con ciertas excepciones marcadas por el gótico internacional que alcanzan el s. XV.

Para esta categorización la base fundamental ha sido el análisis morfológico (pliegues, rostros, tocados, etc.), ya que raramente la esencia de la madera, las dimensiones o la policromía, tenidas en cuenta, han logrado conformar un punto de conexión. De la misma manera se detalla la localización geográfica de las obras, relacionándola con focos importantes religiosos o económicos donde han podido establecerse los talleres de producción y en algunos casos se identifica una pieza referencial que eventualmente ha servido de modelo.

Acompaña el texto un gran número de tablas de información, muy aclaratorias para seguir el discurso y numerosas fotografías de conjunto y detalle, estableciendo relaciones y comparaciones precisas. Destacan las imágenes técnicas y científicas, menos habituales en publicaciones de historia del arte.

Un último apéndice sobre la Virgen del Museo de Besançon incide sobre la importancia del estudio metódico y sistemático de las esculturas aprovechando las nuevas técnicas de análisis, ya que adelanta los resultados de las pruebas de carbono 14 realizadas recientemente en esta obra que rectifican la cronología propuesta.

El libro va acompañado de un catálogo on line, donde se reúne información detallada de estas 148 tallas, incluyendo fotografías, esquemas representativos y bibliografía.

En resumen, el libro es fruto de un estudio profundo de este corpus de Vírgenes en trono con Niño. Su lectura resulta de interés tanto para historiadores de arte como para conservadores y restauradores, y en general para todas aquellas personas interesadas en la producción escultórica románica y gótica. En él se plantean nuevas perspectivas y también numerosas preguntas que servirán sin duda al desarrollo ulterior del tema.

Maite Barrio Olano
Albayalde Conservatio



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1113>

www.revista@ge-iic.com



Edición digital del GEIIC