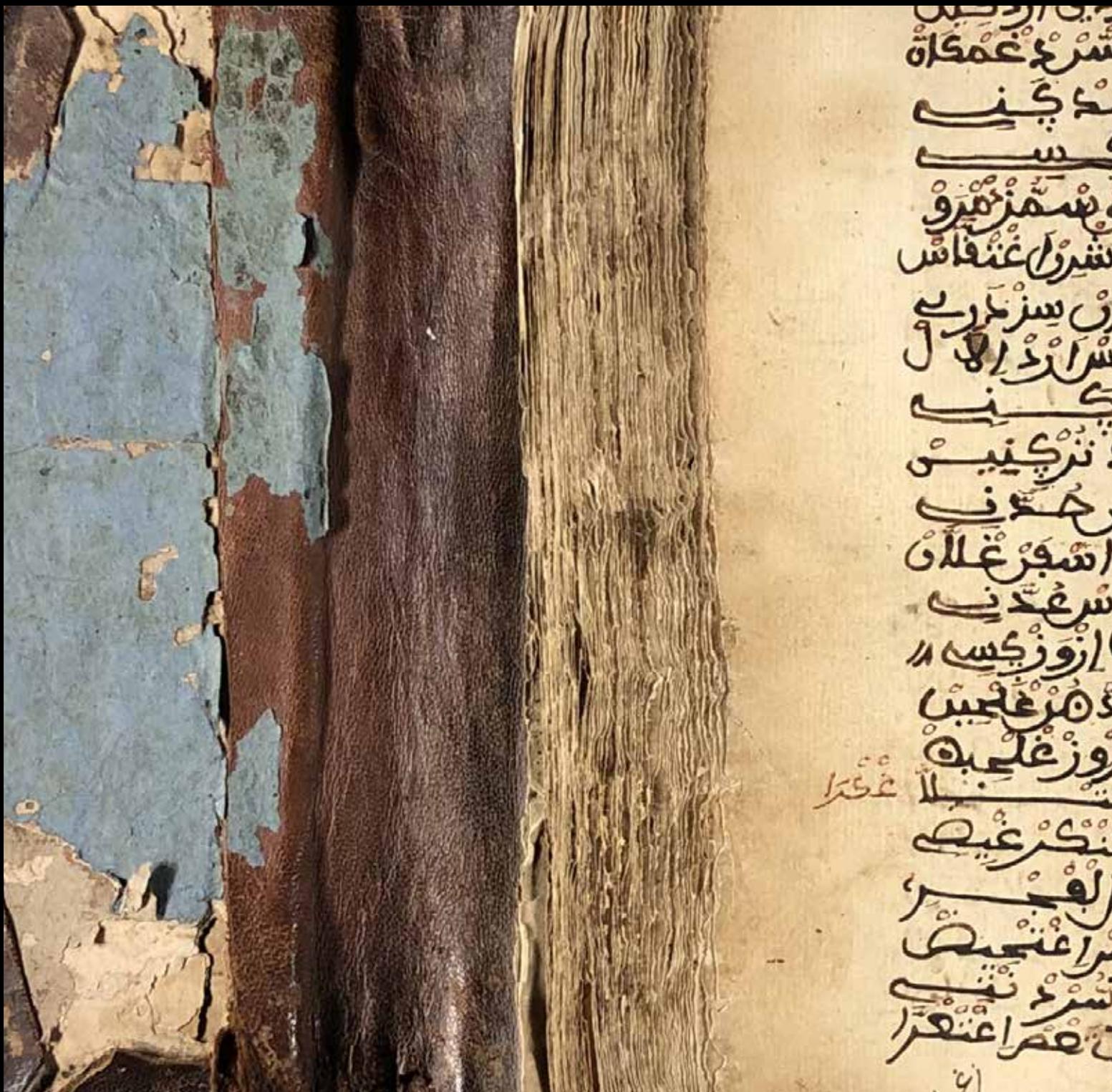


# Ge-conservación

Conservação | Conservation



<b>Dirección Editorial:</b>	Emma García Alonso
<b>Consejo de Redacción:</b>	Ana Bailão, Rocío Bruquetas Galán, Ana Carrassón, António João Cruz, Rafael Fort González, Laura Fuster López, Silvia García Fernández-Villa, Marisa Gómez González, Ana Laborde Marqueze, Alfonso Muñoz Cosme, Milagros Palma Crespo
<b>Editores Invitados:</b>	Lucía López Polín
<b>Secretaria de Edición:</b>	M <sup>a</sup> Concepción de Frutos Sanz
<b>Maquetación:</b>	M <sup>a</sup> Concepción de Frutos Sanz
<b>Traducción portugués:</b>	Ana Bailão
<b>Imagen portada:</b>	Manuscrito beréber. Autora Siranush Hamparzoomian Marín.

**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 1<sup>a</sup>, 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](http://www.revista.ge-iic.com)

E-mail: [revista@ge-iic.org](mailto:revista@ge-iic.org)

[www.ge-iic.com](http://www.ge-iic.com)

E-mail: [secretaria@ge-iic.org](mailto:secretaria@ge-iic.org)

Revista indexada en:



# Índice

<b>Artículos</b>	<b>Páginas</b>
<b>La importancia del color negro en las pinturas de José Guerrero. Caso de estudio del negro en su obra Black Ascending</b> María Carmen Bellido Márquez	6
<b>El primer plano de obra del palacio de Carlos V en la Alhambra (h. 1532-36)</b> Antonio Jesús García Ortega, Antonio Gámiz Gordo	18
<b>Facing new challenges in the conservation of the boots of former Valencia Club de Fútbol player Gaizka Mendieta</b> Rosario Llamas-Pacheco	30
<b>Del agave a la arquitectura en tierra. Aprovechamiento de fibras naturales de los desechos de la agroindustria en la fabricación del adobe biocompósito</b> Mauricio Ruiz Serrano, Héctor Serrano Barquín, Andrés Ruiz Serrano	44
<b>Estudio de los materiales compositivos empleados en la fabricación de un manuscrito bereber del siglo XVIII</b> Carla Álvarez Romero, Antonio Doménech Carbó, Teresa Espejo Arias, Siranush Hamparzoomian Marín, María Teresa Doménech Carbó	53
<b>Tecnologías de imagen multibanda en la documentación de pinturas murales ocultas: la ‘Santa Cena de la Ermita de Sant Roc de Ternils’ (Carcaixent, Valencia)</b> Miquel Àngel Herrero-Cortell, María Antonia Zalbidea Muñoz	65
<b>Incidencia de factores ambientales en fachadas de travertino de edificios patrimoniales del centro histórico de Cuenca-Ecuador. Un escenario de prueba mediante el Procesamiento Digital de Imágenes</b> María del Cisne Aguirre Ullauri, Javier Bernardo Cabrera Mejía, Carlos Ernesto Guerrero Granda, Michelle López Suscal	80
<b>Recontextualizando y analizando prácticas de conservación en un textil arqueológico de Arica en el MNHN</b> Yasna Sepúlveda Guaico, Francisco Garrido	96
<b>The Alhambra Museum: History, Conservation and Management of its tile and tiling mosaic collections</b> Danielle Dias Martins	106

<b>Propuesta original de bajo impacto físico y medioambiental, de coberturas ligeras de doble capa para yacimientos arqueológicos, optimizadas mediante software paramétrico y análisis del ciclo de vida</b>	<b>117</b>
Manuel Ordóñez Martín, Juan Carlos Gómez de Cózar, Rosa M <sup>a</sup> Benítez Bodes	
<b>Identification of documented constructive stages of the San Ignacio Bridge (Aguascalientes, Mexico) using electrical resistivity tomography (ERT)</b>	<b>132</b>
Raudel Padilla-Ceniceros, Jesús Pacheco-Martínez, Norma González-Cervantes, Michelle Ivonne López-Escobar, Miguel Ángel Soto-Zamora, Hugo Luna-Villavicencio, Isaí Gerardo Reyes-Cedeño	
<b>Caracterización del embaldosado de escoria de fundición para la intervención de un puente del siglo XVIII de la Nueva España</b>	<b>142</b>
Miguel Angel Soto-Zamora, Rubén Alfonso López-Doncel, Isaías Edén Vizcaíno-Hernández, Andrea Maldonado-Arévalo	
<b>El patrimonio cultural en la guerra de Ucrania: amenazas y vulnerabilidades</b>	<b>154</b>
Pilar Montero Vilar	

## Reseñas

<b>Libro: <i>Early painting in the Northern Netherland. Style and technique.</i> Arie Wallert</b>	<b>166</b>
Marisa Gómez González	
<b>Libro: <i>La tabla votiva de Juan Martínez de Mendaro. Estudio e intervención de una pintura del XV (Zumaia).</i> Maite Barrio Olano y Bart Fransen</b>	<b>169</b>
Marisa Gómez González	



## *Artículos*

---

## La importancia del color negro en las pinturas de José Guerrero. Caso de estudio del negro en su obra *Black Ascending*

María del Carmen Bellido Márquez

**Resumen:** El color fue una herramienta de expresión para el pintor José Guerrero y el negro fue primordial en su trayectoria plástica. El objetivo de este estudio es conocer la relevancia de dicho color en su pintura *Black Ascending* (1962-1963) mediante el análisis de esta obra, poniendo especial interés en su mancha negra para determinar su extensión, cromaticidad y sentido simbólico y ofrecer sus datos colorimétricos para poder observar en el futuro la posible evolución en cambios de color de la obra. La metodología utilizada ha sido teórico-documental-cualitativa y práctica-cuantitativa. Se han tomado valores colorimétricos del cuadro que han determinado sus principales áreas cromáticas, siendo la mancha negra la segunda más extensa de su superficie, que es rica en croma y simboliza sentimientos que resurgieron de la memoria del autor. El negro fue para él un color determinante, vivo y familiar, que le evocó sus vivencias y que usó como guía y estímulo creativo por excelencia.

**Palabras clave:** colorimetría, color negro, José Guerrero, pintura contemporánea, simbolismo del color

### The importance of the color black in the paintings of José Guerrero. Case study of the black in his work *Black Ascending*

**Abstract:** Color was a tool of expression for the painter José Guerrero and black was essential in his plastic career. The objective of this study is to know the relevance of this color in his painting *Black Ascending* (1962-1963) through the analysis of this work, placing special interest in his black spot to determine its extension, chromaticity and symbolic meaning and offer their colorimetric data to be able to observe in the future the possible evolution in color changes of the work. The methodology used has been theoretical-documentary-qualitative and practical-quantitative. Colorimetric values of the painting have been stained, which have determined its main chromatic areas, the black being the second largest on its surface, which is rich in chroma and symbolizes feelings that resurfaced from the author's memory. Black was a determining color for him, alive and familiar, which evoked his experiences and which he used as a guide and creative stimulus par excellence.

**Keywords:** colorimetry, black color, José Guerrero, contemporary painting, color symbolism

### A importância da cor preta nas pinturas de José Guerrero. Estudo de caso do preto na sua obra 'Black Ascending'

**Resumo:** A cor foi uma ferramenta de expressão para o pintor José Guerrero, e o negro foi fundamental em sua trajetória artística. O objetivo deste estudo é compreender a relevância dessa cor na sua pintura "Black Ascending" (1962-1963) através da análise desta obra, com especial interesse na sua mancha negra, a fim de determinar a sua extensão, cromaticidade e sentido simbólico, e fornecer dados colorimétricos para observar futuras mudanças de cor na obra. A metodologia utilizada foi teórico-documental-qualitativa e prática-quantitativa. Foram obtidos valores colorimétricos do quadro, que determinaram as suas principais áreas cromáticas, sendo a mancha negra a segunda mais extensa da sua superfície, rica em croma e simbolizando sentimentos que ressurgiram da memória do autor. O negro foi para ele uma cor determinante, vibrante e familiar, evocando as suas experiências e sendo utilizada como guia e estímulo criativo por excelência.

**Palavras-chave:** colorimetria, cor negro, José Guerrero, pintura contemporânea, simbolismo de cor

## Introducción

El color es una sensación producida en el sistema visual del observador que depende de varios factores, entre ellos la composición espectral de la radiación incidente en el ojo (Ortiz, 2002); es un estímulo visual que da al ser humano información sobre el mundo que le rodea y que le permite comunicarse con su entorno (Heller 2018). Su interpretación tiene connotaciones psicológicas y simbólicas que afectan a su estado de ánimo (Pradas Gallardo 2018).

Desde esta perspectiva, la percepción humana del color es un fenómeno sugestivo que presenta dificultad de descripción y comprobación, pues, aunque las sensaciones visuales posibilitan distinguir diferencias de color, el ojo humano se acomoda al medio en el que percibe el estímulo luminoso (Grau 1999) y “tiende a situarse en un nivel de sensibilidad intermedio” (Moreno 1996: 15), por lo que el estudio objetivo del color requiere hacer un análisis científico numérico (colorimétrico).

El color negro se define como el estímulo visual más carente de luminosidad y que genera la percepción de mayor oscuridad al ser recibido por las células fotosensibles humanas. En términos digitales, el negro es: HTML=#000000 (RGB=0,0,0 y CMYK=0,0,0,0) (Borrego 2012).

La simbología del color negro está asociada a la ceremonia, oscuridad, noche, pena, tristeza, muerte, tragedia, negatividad, luto, lo oculto, etc. (Heller 2018).

Por otra parte, José Guerrero, autor español que nos ocupa en esta investigación, vivió en Estados Unidos (Filadelfia y Nueva York) buena parte de su vida. Allí supo adaptarse al Expresionismo abstracto americano imperante en la época de mediados de los años cincuenta, viniendo de la figuración europea. Su relevancia y reconocimiento artísticos son internacionales y, concretamente, en España es un referente de este movimiento. La obra de Guerrero:

arranca con la influencia de Matisse y Picasso a mediados los años cuarenta y se desarrolla con el descubrimiento de la abstracción en el entorno americano de los primeros cincuenta, el impacto del pop art a finales de los sesenta y el hallazgo de un sistema formal propio a partir de los setenta, hasta llegar a la plena madurez. (León 2017: parr. 1)

## Objetivos

Como en las pinturas de José Guerrero el negro destaca de forma sobresaliente y constante, dando contraste al resto de los tonos, el objetivo general de esta investigación es conocer la relevancia que el color negro tuvo en su trabajo titulado *Black Ascending* [Figura 1 izquierda], haciendo en él un especial estudio colorimétrico y de extensión de su mancha negra y, con ello, poder relacionar los ejemplos obtenidos con el resultado global del cuadro.

Otros objetivos más específicos son:

1. Ofrecer unos apuntes generales de la vida y la trayectoria artística de José Guerrero respecto a su relación con el color negro.
2. Hacer un análisis contextual, formal y compositivo de la pintura *Black Ascending*.
3. Analizar colorimétricamente la pintura estudiada mediante muestras de cromas tomadas de una forma regular, preestablecida y no destructiva.
4. Estudiar la extensión y características de las muestras cromáticas tomadas del color negro en dicha pintura respecto al conjunto de todas las tomadas del propio cuadro.
5. Relacionar los anteriores resultados con la importancia del color negro en esta obra.
6. Ofrecer en gráficos e imágenes los datos colorimétricos obtenidos para su uso en el caso en que se haga un nuevo estudio colorimétrico pasado algún tiempo y se quiera observar si ha habido cambios de color en la superficie del cuadro respecto a este estudio previo.

## Metodología

La metodología utilizada en esta investigación ha sido mixta. Como método teórico-documental-cualitativo, se ha nutrido de la consulta de textos referentes al tema y del examen y análisis visual de la obra intervenida y como metodología práctica-cuantitativa, se han tomado mediciones numéricas del color a partir de muestras no destructivas, cuyos resultados se ofrecen mediante gráficos y un mapa de isocromas, los cuales reflejan sus valores colorimétricos.

Los materiales de estudio han sido textos sobre la vida y la obra de José Guerrero y la pintura original *Black Ascending* (1962-1963) (óleo/lienzo, 184 x 153 cm) [Figura 1], perteneciente a la familia Guerrero y que forma parte de la colección permanente del Centro José Guerrero (Granada, España). Este cuadro ha sido elegido para ser analizado en este estudio por su colorido, la importancia en él del color negro y su época de producción, cuando el artista terminó de recibir unas sesiones de psicoanálisis y decidió volver temporalmente y en solitario a España tras más de quince años de tener su residencia familiar en EE.UU.

Para el método de la medición numérica del color, se ha empleado un Espectrofotómetro CM-2500c Konica Minolta, que utiliza el sistema internacional de medición del color CIE 1976-CIELAB (CIE 1976 L\*a\*b\*). El *software* utilizado ha sido el Color Data Software CM-S100w SpectraMagic TM NX, que ha permitido obtener de las medidas de color examinadas su reflectancia porcentual, valores de croma y diferencias



**Figura 1.-** Izquierda: José Guerrero, *Black Ascending*, 1962-1963. Óleo/lienzo, 184 x 153 cm. Fuente: Centro José Guerrero, Granada. Derecha: mapa de posicionamiento de las muestras de color tomas, ubicadas en los cruces de las líneas rojas que forma una cuadrícula sobre la obra *Black Ascending*. El punto azul localizado en un cruce de la cuadrícula, en su parte inferior derecha, señala la localización de una muestra usada como ejemplo en este texto, que es la número 227. Fuente: elaboración propia.

de dicho croma, según la referencia de una muestra patrón seleccionada, además de su luminosidad y localización en el espacio de color CIELAB 1976, independientemente de sus condiciones de exposición y percepción visual humana (Capilla, Artigas y Pujol 2002; Palazzi 1995). Las muestras de croma también han sido agrupadas para conocer sus porcentajes y se han examinado específicamente las de color negro.

Para la referencia de la muestra patrón seleccionada, se ha usado una placa de calibración del blanco CM-A145-  $L^*(D65)= 48,91$ ,  $a^*(D65)= 9,08$ ,  $b^*(D65)= -5,52$ ,  $h(D65)= 328,65$  y  $C^*(D65)= 10,63$ - que es la que trae de serie el propio instrumento. El iluminante usado ha sido el D65 estándar de la CIE, que es una luz día con una temperatura de color de 6504 K, con un observador estándar de 10°. El área de muestreo del espectrofotómetro ha sido de  $\varnothing 8$  mm con la máscara de referencia CM-A146. Se han tratado medidas de reflectancia con componente especular incluido (SCI, *Specular Component Included*). Los datos que han ofrecido las muestras seleccionadas se han tomado de la obra mientras esta estaba expuesta en una de las salas de exposiciones del Centro José Guerrero. Se ha calibrado el blanco una vez que el instrumento estaba aclimatado a la temperatura de dicha sala y se han obtenido todas las mediciones de las muestras con la misma temperatura.

Se han tomado un total de 304 muestras directamente de la superficie de la obra original de forma no destructiva, con

una separación aproximada de 10 cm entre sí, siguiendo un patrón cuadrículado extendido por toda ella [Figura 1 derecha]. Esta rejilla ha generado la citada cantidad de muestras, las cuales se cree que son suficientes para abordar el trabajo propuesto y obtener de él resultados fiables, aunque la medición haya sido un proceso extenso.

Las muestras se han obtenido en orden de izquierda a derecha y de arriba abajo. De entre todas ellas, se ha elegido la número 227 como ejemplo a destacar entre las demás porque es una que se encuentra en una de las zonas de color más generalizada (la ocre) y tiene una claridad-oscuridad intermedia entre todos los colores del cuadro.

### **Origen, simbolismo, evocación y presencia del color negro en la trayectoria del artista**

Para José Guerrero (Granada, España, 1914 – Barcelona, España, 1991) el color fue una forma de comunicación y la pintura un medio para ello. Él fue un pintor colorista que se identificó con la gama de colores que experimentó en su infancia y juventud, los cuales empleó simbólicamente en sus trabajos plásticos (pinturas, grabados, dibujos, tintas, guaches, murales y esculturas) como si se tratara de un catálogo de memorias y experiencias. Así expresó en ellos su pasado, sus emociones, su forma de sentir el mundo y su relación de sinestesia con los acontecimientos que le sobrevinieron en su vida (Ortuño 1980).

El gusto por el color llevó a Guerrero a usar una amplia gama de matices y tonos en sus obras. Entre ellos, el negro está muy presente, junto a otros más saturados o puros, lo que hace que, visualmente, presenten fuertes contrastes tonales. Y esto es así desde sus producciones iniciales hasta las últimas, en mayor o menor medida. Guerrero mismo afirmó: “Desde que puedo recordar, el negro siempre estaba allí, como una parte de la vida; en la gente, en el paisaje, en la soledad” (Ortuño 1980: 91). Y también dijo: “El negro es un color de tragedia, pero para mí tiene algo de familiar... [...] el negro para mí es quizá el color de los colores” (Ortuño 1980: 154).

En este sentido, el color negro fue para él algo cotidiano, pues de niño sus amistades le llamaban el amigo negro por usar indumentaria teñida -traje y zapatos- de este color para cumplir con el luto por la muerte, primeramente, de su padre, acaecida en 1929 -cuando él contaba quince años- (Guerrero s. f.: parr. 2), dos años más tarde de su hermano mayor, en 1931, y, sucesivamente, de otros familiares, lo que le condicionó a vestir de este color durante mucho tiempo.

Los trabajos pictóricos de juventud de Guerrero los realizó en Granada y fueron de estilo figurativo y academicista (Quesada y Henares 2018). Después, el artista pasó la Guerra Civil Española en el frente de Ceuta, durante su servicio militar, donde recurrió a dibujar vistas panorámicas. Esta circunstancia hizo que esta guerra quedara para él “asociada a la tragedia española [...] la errancia y [...], esto es, el paisaje y su experiencia sinestésica” (Baena 2014: 203).

Entre 1942 y 1945 Guerrero vivió en Madrid, donde buscó la combinación de los colores y las formas para expresar su particular visión del mundo y representó evocaciones de juventud, experiencias personales y paisajes conocidos, usando un lenguaje plástico figurativo, desenfadado y suelto en el que usó el color negro como recurso plástico ya apreciable en sus primeras obras.

En 1945 el artista marchó a París, lugar en el que despertó su interés por utilizar nuevos materiales (cemento, ladrillo o piedras) y objetos con los que realizó frescos portátiles. Esta ciudad le permitió conocer a los artistas españoles de la Escuela de París y allí quedó prendado del uso del color hecho por los fauvistas, especialmente por Matisse. De ello, dedujo que la impresión que le había causado el arte contemporáneo europeo le obligaba a emprender un camino de búsqueda personal que iba unido a su condición de artista de posguerra.

Seguidamente, Guerrero vivió en la Academia de España en Roma (Italia) entre 1947-1948 y en este periodo tuvo una crisis de ansiedad sobre la que manifestó posteriormente:

Los primeros síntomas de fobia que yo tuve fueron en Roma (...) me entró una angustia..., que me moría..., no podía respirar, me puse blanco (...) Llegué

a la Academia en unas condiciones y..., a mí me pasa algo muy grave..., y me tuve que ir de Roma en unas condiciones terribles. (Ortuño 1980: 33)

Su proceso evolutivo plástico continuó tras vivir en Bruselas y de nuevo en París. En la capital francesa pintó temas lorquianos, trabajos que, en algunos casos, han desaparecido. Seguidamente, en Londres se casó con la periodista estadounidense Roxanne Whittier Pollock (1948), a quien había conocido en Roma, y luego ambos visitaron España y se instalaron en la capital de Reino Unido. En 1949 el matrimonio se trasladó a Filadelfia y al año siguiente se mudó a Nueva York. La acomodación de José Guerrero a su nuevo lugar de residencia no fue sencilla y así él le manifestó a su esposa que ese cambio le iba a costar cinco años de adaptación a las costumbres y al arte (Ortuño 1980). Pero Guerrero pronto encontró su propio lugar en la nueva sociedad y en el panorama artístico en el que vivía y, poco a poco, comenzó el paso de la figuración a la abstracción atravesando una etapa de referentes biomorfo desarrollada en la primera mitad de los años cincuenta, en cuyas obras el color negro también fue importante (*Black Cries*, 1953 o *Black Followers*, 1954). En Nueva York Guerrero conoció a la galerista Betty Parsons, que le abrió el camino para poder relacionarse con relevantes artistas (Mark Rothko, Richard Lindner, Robert Motherwell y Franz Kline).

Entre sus exposiciones iniciales más destacadas, el artista hizo una muestra de forma colectiva en 1954 en el The Arts Club of Chicago exponiendo una de sus piezas murales junto a obras de Joan Miró. Ese mismo año realizó una primera exposición en la Galería Betty Parsons a la que asistió Rothko, con quien mantuvo una conversación que le ayudó a abandonar sus trabajos matéricos (Ortuño 1980) y a pintar por la importancia del color. A partir de entonces, realizó una obra pictórica de reducción de elementos que derivó en la abstracción por el color, dando importancia al valor de las manchas cromáticas repartidas en la superficie de sus cuadros con un gran acento gestual y expresivo, casi visceral y de connotaciones sensitivas.

En 1958 Guerrero realizó obras abstractas que ya no mostraron ninguna referencia figurativa y que quedaron encuadradas plenamente dentro de la *action painting* del Expresionismo abstracto americano. Con ellas llevó a cabo su tercera exposición individual en Nueva York en la misma galería anterior, titulada *The Presence of Black*, en cuyos cuadros el color negro fue el protagonista. Así: “Guerrero confirmaba ya su singularidad, su gesto (colores provocativos sumados a formas dramáticas en los que el negro solía tener, como siempre había ocurrido y seguiría ocurriendo, un notable protagonismo que le permitía trasladar al lienzo su mundo emocional” (Romero y Baena 2014: 18).

Además, al uso del color negro en sus obras también se unió el título de esta exhibición -*The Presence of Black*- como connotación y referencia a su desarrollo pictórico:

la reivindicación del negro como color, del «negro vivo», que pertenece a su memoria, [...]. El uso del negro en la pintura de Guerrero no era nuevo, más bien todo lo contrario. Era difícil encontrar una sola obra del artista hasta ese momento en la que el negro no estuviese presente, aunque no fuera el protagonista absoluto del cuadro. (Romero 2014: 31-32)

Con esta exposición Guerrero encontró el reconocimiento que había estado buscando durante mucho tiempo, y, a la vez, también consiguió exponer en la muestra *Action Painting*, celebrada en el Museo de Arte Contemporáneo de Dallas (1958). Además, ese mismo año fue becado por la prestigiosa Graham Foundation junto a artistas como Wifredo Lam, Eduardo Chillida o Mies van der Rohe, pero esta noticia la recibió en un mal momento emocional, lo que le provocó una gran crisis nerviosa. Sobre esta época creativa, Guerrero dijo que los cuadros comenzaron a clamar y que se convirtieron en total inquietud y ansiedad (Romero 2014), evidenciando que el autor sentía desasosiego y, a pesar del éxito que su obra le generó, él cayó en una profunda depresión (1958):

su vida interior se colapsó y se vio abocado al psicoanálisis. Lo que desencadenó la crisis fue el estrés que le sobrevino en Chicago. [...] Guerrero se puso en las manos del doctor Richter [...], que prolongó el tratamiento durante cuatro años. (Centro José Guerrero s. f. a: parr. 20)

Preguntado a Guerrero por la causa del tratamiento de psicoanálisis, respondió que ésta no había sido un problema de la pintura, sino que a él no le gustaba molestar a nadie y el hecho de guardarse sus opiniones le pasaba una factura emocional, unido al desasosiego de depender del éxito de su pintura y del trabajo de su esposa para mantener la economía familiar, además del desarraigo, la errancia: “el ser español en opinión de los americanos y americano en opinión de los españoles, etc.; pero que ya no se callaba sus opiniones y que de esa manera podía vivir tratando a la gente con claridad y rectitud” (Ortuño 1980), así pudo mantenerse en la vanguardia artística neoyorquina.

A su recuperación también ayudó que en 1962, acabado su tratamiento psicoanalítico, el artista se trasladó a España en solitario y se reencontró con su origen, con su madre, quien había vestido de negro desde la muerte de su marido y padre del artista hasta sus 83 años, y sobre este viaje el autor manifestó: “bueno, yo, cuando volví a Granada hablé mucho con mi madre sobre todas las cosas de mi niñez que me habían impresionado..., los muertos y los nichos..., [...] qué me había pasado...” (Ortuño 1980: 29).

Finalmente, el tratamiento y el viaje le ayudaron a encontrar la manera de afrontar la vida y una forma propia de desarrollar su obra plástica:

lo cierto es que, aparte de superar la angustia y alcanzar un mayor bienestar personal, ganó una gran capacidad de análisis que, en lo sucesivo, aplicó al juicio de su

propia obra, lo que le permitió desarrollar con gran lucidez su sentimiento plástico. (Centro José Guerrero s. f. a: parr. 20)

El artista había pasado un momento de “introspección psicoanalítica” (*Europa Press* 2014: parr. 5) en el que había conseguido alcanzar el éxito con visión de futuro, investigación plástica, sacrificio, esfuerzo y desgaste psicológico, pero habiendo salido de ello fortalecido, lleno de creatividad y sin haber perdido nunca la voluntad de trabajar en el campo de la pintura.

Tras su primer viaje en solitario a España, Guerrero volvió a Nueva York, allí pintó entre 1962 y 1963 el cuadro *Black Ascending* [Figura 1, izquierda], que es estudiado en este artículo, cuando “El negro adquiere [más] entidad en su obra, alcanzando intensas cotas de dramatismo y monumentalidad, más aún desde que descubre las sesiones de psicoanálisis” (Lucas 2015: parr. 7).

A partir de los primeros años sesenta se produjo un cambio en la pintura del artista que se prolongó hasta finales de esa década. Esta nueva experiencia plástica se caracteriza por la recuperación de su memoria española (Romero 2014), realizando obras como *Albaicín*, *Sacromonte* o *Alpujarra* en las que el color negro también está presente. En España, comenzó a trabajar con la galerista Juana Mordó y expuso en una muestra colectiva (1964) y otra individual (1965) en Madrid. En 1966 regresó a España con su familia para pasar aquí quince años y participó en la apertura e inauguración del Museo de Arte Abstracto Español de Cuenca (1966). También mantuvo su relación con las personas e instituciones que conocía en EE. UU. y en estos años viajó allí en varias ocasiones.

Al inicio de la década de los setenta Guerrero desarrolló su serie *Fosforescencias*, inspirada en cerillas de carterilla, como un acercamiento al Pop Art americano. En estas obras mantuvo el color negro, combinado, como siempre, con otros colores cromáticamente más intensos o solo con blanco, como en *Intervalos negros* (1971), *Arcos negros* (1970) o *Centro negro* (1975).

En 1976 tuvo lugar una exposición antológica del artista en Granada (España), su ciudad natal. A partir de ese momento, subió su popularidad y reconocimiento en su país y se convirtió en el maestro de los jóvenes artistas españoles de la época, llegando a exponer en la Casa de las Alhajas de Madrid en 1980.

Desde mediados de los años setenta en adelante, Guerrero realizó obras pictóricas que se caracterizan por tener manchas de colores de gran tamaño, hechas con rojos, anaranjados, azules, ocre, verdes y amarillos que contrastan con negros y blancos, como en *Lateral negro* (1974) y *Oferta con rojo* (1988).

El color negro fue para el artista un acicate, pues él dijo: “Naturalmente, el negro. (...) tengo muchos deseos de sacarme la espina del negro” (Ortuño 1980: 91), pero no lo

dejó de usar nunca. Esta característica la mantuvo en toda su trayectoria artística, destacando, especialmente, desde su etapa de transición de la figuración al expresionismo hasta el final de su producción. Las exposiciones de sus trabajos y homenajes a su producción no han cesado desde su muerte (1991), como la muestra *The Presence of Black 1950-1966* expuesta en Granada, Madrid y Barcelona (2014) para conmemorar el centenario de su nacimiento y las numerosas exhibiciones y eventos que produce el Centro José Guerrero desde Granada (España), como la serie de conferencias *Cuarenta pinturas en busca de voz*, en la que participó Joan Fontcuberta el 23 de marzo de 2021 para comentar el cuadro *Presence of Black* (Centro José Guerrero 2021).

### Composición y factura

La composición de *Black Ascending* [Figura 1 izquierda] está articulada por una mancha negra central y zigzagueante de forma diagonal que posee una dirección diagonal de izquierda a derecha o viceversa, además de una mancha amarilla y otra violeta situadas a la izquierda de la obra sobre un fondo ocre y algunas partes blancas y beige. El fuerte contraste de color, la disposición de la mancha negra y la predominancia de colores cálidos ofrecen una composición dinámica y equilibrada, pero inquietante, que vibra visualmente en las zonas de los bordes de las manchas (donde aparecen blancos, verdes y colores intermedios), en las que no hay límites concretos. Su apariencia es de una obra muy trabajada:

que indica que se trata de un cuadro encontrado en el acto de su negación, en su tachadura furiosa. [...] en el que el negro es como una brecha que culminara el fastidioso trabajo que le otorga al arte su condición de recién nacido. Pulsión de la muerte que genera nueva vida. (*Europa Press* 2014: parr. 6)

La obra se encuentra firmada por el artista en color negro en la esquina inferior derecha de su anverso, aunque, generalmente, él firmaba sus lienzos por su reverso.

### Colorimetría

En colorimetría el color consta de tres atributos: el croma ( $C^*$ , color), la luminosidad ( $L^*$ , claridad-oscuridad) y tono ( $h$ , intensidad de pureza-impureza al añadir blanco, gris o negro) (Capilla i Perea, Artigas, y Pujol, 2002).

Los resultados presentados a continuación revelan las características colorimétricas del cuadro *Black Ascending* (1962-1963). Entre todas las muestras registradas [Figuras 2, 3, 4 derecha y 4 izquierda] hay una misma en todos los gráficos -la número 227-, que destaca por su color azul, que ha sido elegida como ejemplo de lo que puede obtenerse de cada una de ellas en los diferentes gráficos.

En el gráfico que representa la reflectancia porcentual espectral -valor porcentual de la energía radiante que es reflejada por un material, del total de energía radiante que incide en su superficie [Figura 2] de los colores puede verse la reflectancia de todas las muestras medidas, respecto a sus longitudes de onda (nm). La heterogeneidad de reflectancia porcentual presentada por las muestras es consecuente con la diversidad de puntos-colores medidos en el cuadro, llegando a alcanzar hasta el 85 %, aproximadamente. Los valores de reflectancia de todas las muestras están representados en color rojo, destacando la longitud de onda de la muestra seleccionada como ejemplo, la número 227, que lo está en color azul.

El gráfico correspondiente a los valores de croma [Figura 3] representa la variabilidad cromática, según la ecuación CMC(l:c)(D65) con referencia a una muestra patrón usada para calibrar el fotómetro y proporcionado por la empresa suministradora del espectrofotómetro (Philips-Invernizzi, Dupont & Cazé 2001; López y Di Sarli 2016). Este sistema se ha elegido porque es el que proporciona el instrumento de medición usado y resulta ser idóneo para este trabajo, ya que es más perceptual linealmente que otros espacios de color, lo que significa que cualquier cambio que se produzca en las mediciones modifica su gráfico y se aprecia claramente de forma visual al tener como referente los factores de iluminación y croma.

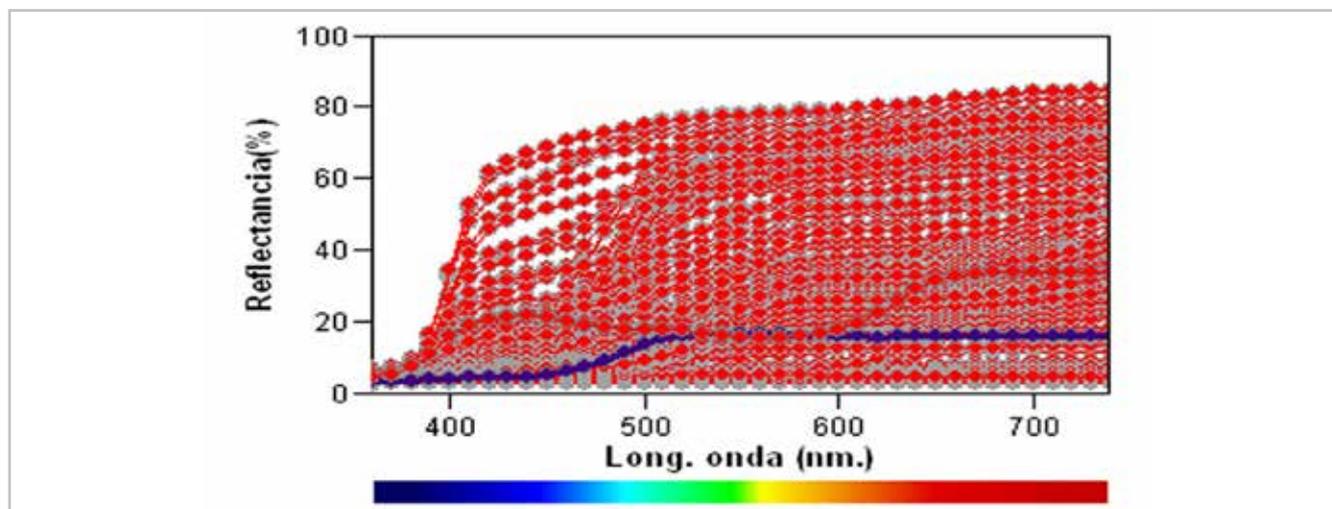
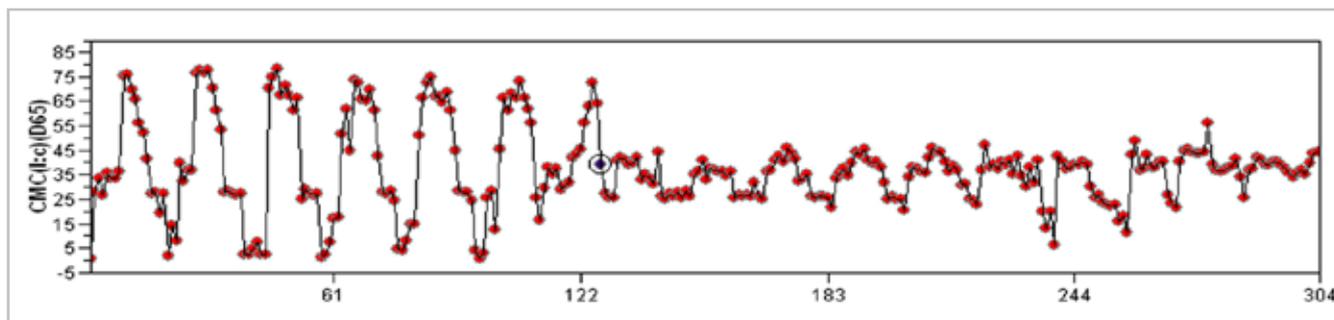


Figura 2.- Gráfico de las curvas de reflectancia espectral de las muestras medidas en el cuadro. Fuente: elaboración propia

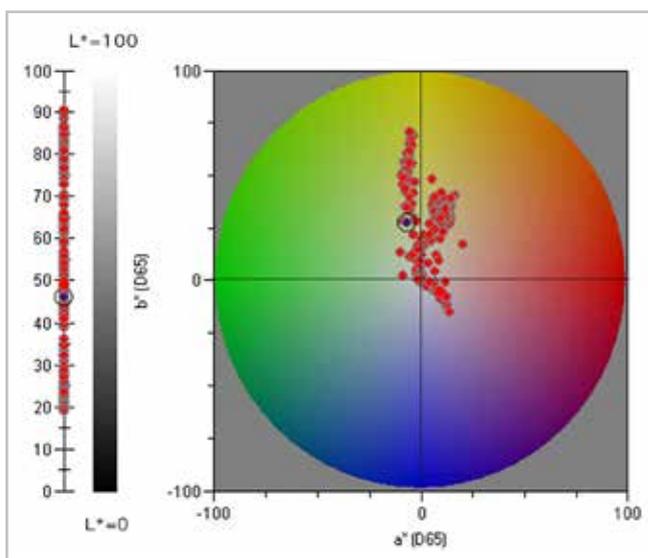


**Figura 3.-** Gráfico de diferencias cromáticas entre las muestras tomadas según una muestra patrón usada para calibrar el espectrofotómetro, un blanco proporcionado por la empresa suministradora del instrumento. Fuente: elaboración propia

En el gráfico de croma, cada muestra se obtiene de la ecuación:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

Los valores de croma en todo el cuadro son diversos, debido a la heterogeneidad de colores presentes en él y están comprendidos entre 0 y 75 unidades. El croma de la muestra que se pone de ejemplo, la número 227, está representado en color azul entre las demás que lo están en rojo y se sitúa entre 35 y 40 unidades.



**Figura 4.-** Izquierda: barra de luminosidad de las muestras. Derecha: representación gráfica de los valores de las muestras en CIELAB-1976. Fuente: elaboración propia

El eje de luminosidad [Figura 4, izquierda] posiciona los resultados de las muestras medidas con una gran amplitud luminosa y valores cercanos al negro (19 %, respecto al 0 %-100 %) y al blanco (92 % respecto al 0 %-100 %), sin llegar a la reflectancia espectral del 100 % (claridad) ni a la reflectancia espectral del 0% (oscuridad), por lo que el rango de luminosidad presenta 73 valores de diferencia, colocándose en el eje de manera casi continua, siendo los datos más bajos lo que corresponden a la mancha negra,

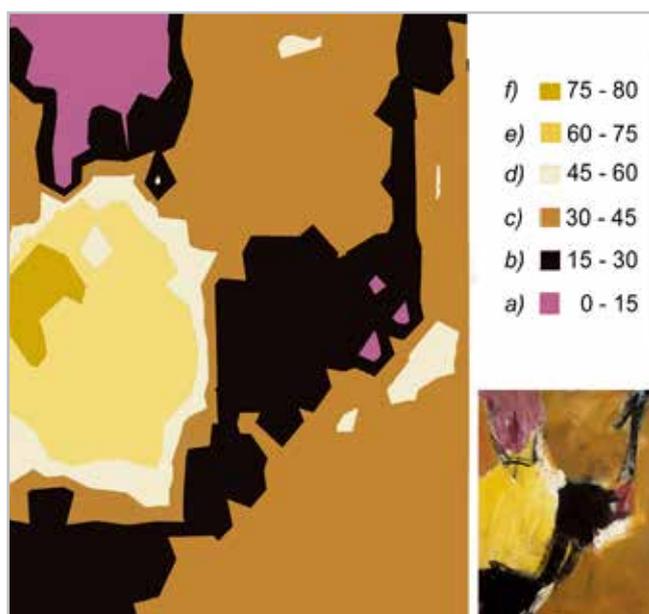
que como se ha indicado, no alcanza el 0 %. Por Esta razón, la mancha negra o zona más estudiada del cuadro que se examina en este caso no es de un negro total, según la medición espectrofotométrica hecha. La muestra 227, tomada como ejemplo, se sitúa entre las 40,5 % y 49,5 % de luminosidad.

El plano de cromaticidad [Figura 4, derecha] expresa mayor pureza de croma cuanto más al borde del círculo presentado estén colocadas los registros obtenidos de las muestras (representando dicho círculo a una esfera en el sistema de color trabajado), donde los colores son más puros, pues en su zona central está el eje de luminosidad, que representa a los colores con croma menos puros (cercanos al blanco, gris y negro). En esta imagen [Figura 4, derecha] hay una disposición de puntos que se agrupan en tonos amarillos-verdosos (ocres, beiges) de media y baja croma, anaranjados-rojizos y violetas-rojizos de bajo croma y, en especial, hay un agrupamiento central ocupado por colores que van del blanco al negro. En el gráfico también se distingue en azul la localización exacta de la muestra seleccionada como ejemplo, que como ya se ha dicho es la 227, según el orden seguido al obtenerlas, que se encuentra ubicada entre amarillo y verdes, cercanos a blanco, negro y gris.

### Mapa de isocromas y porcentaje de cromas

Se ha confeccionado un mapa de isocromas del cuadro *Black Ascending* (1962-1963) [Figura 5] agrupando los datos generados de las muestras tomadas por áreas de color que no equidistan más de 15 unidades entre sus valores cromáticos.

El mapa de isocromas, que refleja la agrupación de valores cromáticos, ha quedado establecidos entre 0,59 y 78,24 unidades de croma como mínimo y máximo registrados, respectivamente. Dicho mapa presenta los resultados correspondientes a las diferencias de croma, resultando 6 áreas distintas, según la calibración hecha [Figura 5, derecha]. A dichas áreas se les ha asignado una letra (a, b, c, d, e, y f), lo que posibilita analizar la distribución cromática de la obra por áreas simplificadas de color.



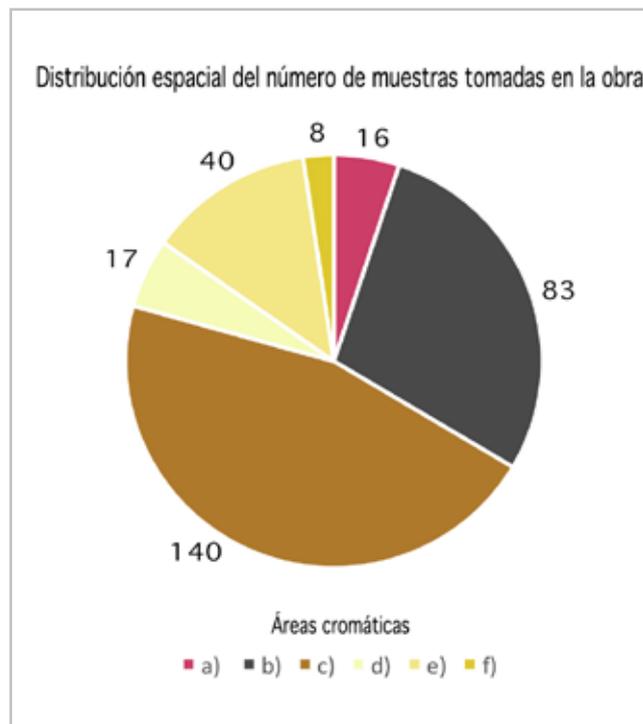
**Figura 5.-** Izquierda: mapa de isocromas de la representación colorimétrica de la obra *Black Ascending*, (1962-1963), según la ecuación  $CMC(l:c)(D65)$ . Derecha: arriba, está la escala gráfica que muestra las agrupaciones de las muestras en áreas de color que no equidistan más de 15 unidades de croma y que se encuentran incluidas en cada categoría (a, b, c, d, e y f) y abajo, imagen en pequeño de la pintura *Black Ascending* que sirve de referencia del original. Fuente: elaboración propia

En el diagrama [Figura 5, izquierda] se observa que las áreas cromáticas se distribuyen de modo bastante similar a los colores y manchas de la pintura original [Figura 1], aunque de forma más plana y simplificada. Se aprecia en esta imagen [Figura, 5 izquierda] que el color *beige* (área d) rodea al amarillo medio (área e) y éste bordea el amarillo oscuro (área f). Ambas localizaciones concéntricas poseen valores cromáticos que se encuentran en la transición de las manchas principales de la pintura y en estas zonas es donde hay mayor variabilidad cromática.

Igualmente, el color negro (área b) se expande entre el ocre (área c) y rodea al violeta (área a) colocado en la parte superior izquierda de la representación. Asimismo, hay pequeñas zonas de color violeta (área a) en la parte central derecha rodeadas de negro (área b), y otras también pequeñas de color *beige* (área d) rodeadas de ocre y colocadas en la parte superior y media-baja derecha de la imagen, que proveniente de la transparencia de la imprimación blanca del cuadro.

Respecto al número de muestras que hay en cada categoría de isocromas [Figura 6], obtenidas de los 304 medidas, el área a (violeta) contiene 16 muestras con una superficie total, respecto a la del cuadro, del 5,21 %, el área b (negro) tiene 83 muestras con un 27,30 % del total analizado, el área c (ocre) cuenta con 140 muestras y un 46,06 % de superficie pintada, el área d (*beige*) posee 17 muestras con un 5,62 % de espacio en la obra, el área

e (amarillo medio) alcanza 40 muestras con 13,16 % de superficie estudiada y el área f (amarillo oscuro) contiene 8 muestras con un 2,65 % de extensión en la obra. Con ello se observa que el negro es muy importante en la expansión de los colores de la pintura, pues ocupa la segunda área de extensión de su superficie, con un 27,30 % de ésta, tras el ocre, que es el color más extendido, con un área total del 46,06 % y observando que el resto de las áreas son más pequeñas.

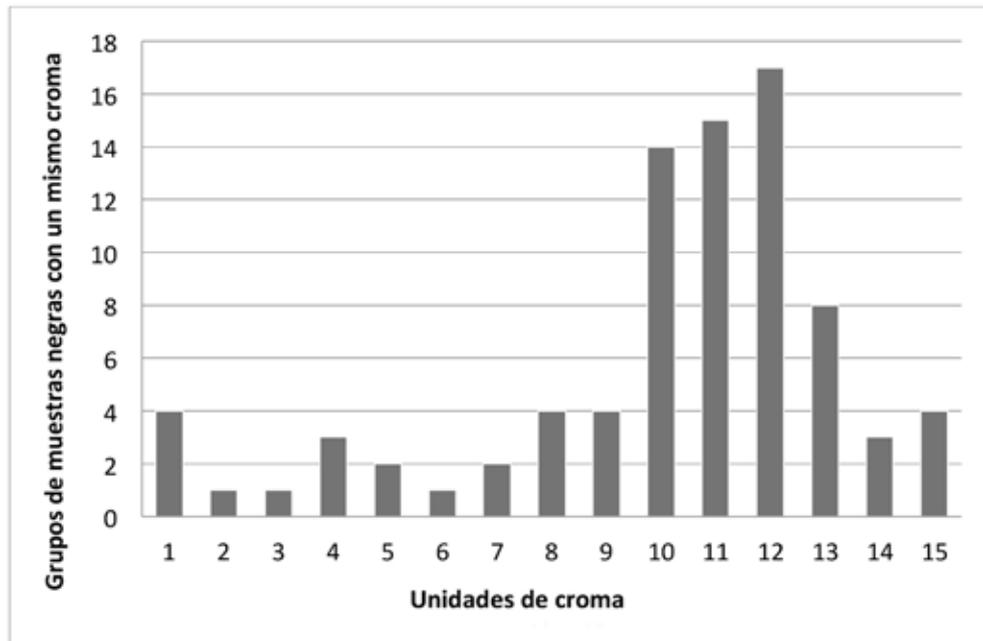


**Figura 6.-** Distribución del número de muestras en las diferentes áreas cromáticas del cuadro. Fuente: elaboración propia

### Variabilidad de croma de la mancha negra

Las 83 muestras que han coincidido en el área b (negro) del mapa de isocromas [Figura 5], y que no varían entre sí más de 15 unidades distintas de croma, están comprendidas entre 15,78 y 30 valores de croma, considerado como escala diferencial una unidad completa. En el eje horizontal del gráfico [Figura 7], se expone los diferentes grupos creados y numerados del 1 al 15 y en el eje vertical se muestra de muestras unidas en un mismo grupo que no han variado más de una unidad de valor de croma completo entre sí.

Como se puede observar [Figura 7], las pinceladas negras del cuadro, área b del mapa de isocromas, son policromáticas, habiéndose concentrado la mayor cantidad de cromas negros similares en grupos de 14, 15 y 17 muestras (en los grupos 10, 11 y 12, respectivamente), que juntas van de un valor de croma del 25,03 al 27,98 con un 58,96 % del total de las muestras negras tomadas, aunque ninguna de ellas ha sido totalmente idéntica a las demás.



**Figura 7.-** Distribución del número de muestras del color negro, área b, con variación de una unidad entre los valores cromáticos de 15,78 y 30 unidades, que van de 1 a 15 unidades. Fuente: elaboración propia

Similar estudio puede hacerse en cualquiera de las otras áreas cromáticas establecidas, pero en este caso ha interesado hacerlo solamente en el color negro de la obra por ser el destacado en el presente estudio.

Sobre las limitaciones del estudio hecho, se tiene en cuenta que no se ha podido hacer una imagen hiperespectral del cuadro ni representar la reflectancia porcentual de éste en un gráfico de barras por no disponer de los instrumentos necesarios, pero también se hace saber que esto no estaba contemplado en las pretensiones iniciales del estudio.

## Conclusiones

Se ha podido ofrecer unos apuntes generales de la vida y la trayectoria artística de José Guerrero, respecto al color negro y se ha determinado que en dicha trayectoria el negro tiene una gran importancia compositiva, plástica, simbólica y evocadora, por lo que su relevancia es muy alta. Su simbología proviene de sus recuerdos de infancia, de la gente, del paisaje, de la soledad, de la muerte, de acontecimientos adversos vividos en su juventud, de su peregrinaje personal, de su malestar emocional -que le llevó a una importante crisis nerviosa- y de su admiración por los artistas clásicos y otros predecesores suyos, como Matisse y Picasso. Todo ello interpretado en su obra con un sentido de familiaridad y no de tragedia. Para él, el negro era el color de los colores, el cual evocó en sus memorias plásticas cual mezcla sustractiva de los pigmentos primarios, el que dio y sigue dando contraste al resto de los matices intensos de sus cuadros. En toda su obra, la presencia del color negro es continua, destacando su protagonismo, especialmente, en los cuadros de los años cincuenta y sesenta.

La pintura *Black Ascending* es de un momento de pleno apogeo profesional del artista y de transición entre una etapa psicológica problemática y otra de reposición emocional. Dicha etapa psicológica difícil fue superada por el artista saliendo de ella fortalecido en lo personal y en lo artístico.

La obra estudiada está encuadrada dentro de la *action painting* americana. Es un lienzo muy trabajado, que evidencia una factura disputada, combativa entre la materia y la expresividad plástica del autor. No tiene manchas planas ni límites definidos entre ellas, sino entremezclados.

La composición de este cuadro está dominada por una mancha negra zigzagueante y estirada, que posee una dirección de izquierda a derecha o viceversa y es diagonal. Destaca en esta mancha negra su contraste de luminosidad, cromaticidad, forma, tamaño y disposición espacial diagonal, respecto al resto de las manchas pictóricas. Dicha mancha actúa como dinamizadora visual por estas razones. En esta pintura predominan los colores cálidos y el negro es fundamental y determinante en ella.

Se ha podido analizar colorimétricamente la pintura tomado muestras de cromas que se han obtenido del propio cuadro de una manera regular, preestablecida y no destructiva. Los datos colorimétricos, tomados a partir de dicha pintura, ofrecen una variada y alta reflectancia porcentual (entre 0 %-85 %), abundantes diferencias de cromatismo (entre 0 % y 75 %), amplios valores de claridad-oscuridad (19 %-92 %) y riqueza de cromas, por lo que plásticamente es rica en contrastes visuales.

El color negro en el cuadro actúa como un color activo, no plano, que presenta poca pureza de color, baja luminosidad,

pero no del 100 %, y una variedad cromática de diferentes agrupaciones de croma, que en ningún caso llegan al negro del 0 %.

La extensión de la mancha negra se reparte en 83 muestras, que suponen el 27,30 % total de la superficie del cuadro (304 muestras). Todas estas muestras se agrupan en valores de croma que van de 15,78 a 30 unidades, estando su mayor concentración comprendidas entre el 25,03 y 27,98 unidades de croma, con un 58,96 % del área negra (b) medida. Ninguna de las muestras ofreció el mismo valor de croma que las demás, por lo que esta zona es policromática.

Del total de las muestras analizadas, el área a (violeta) contiene 16 muestras con una superficie total respecto a la del cuadro del 5,21 %, el área b (negro) tiene 83 muestras con un 27,30 % del total analizado, el área c (ocre) cuenta con 140 de muestras y un 46,06 % de superficie pintada, el área d (*beige*) posee 17 muestras con un 5,62 % de espacio en la obra, el área e (amarillo medio) alcanza 40 muestras con 13,16 % de superficie pintada y el área f (amarillo oscuro) contiene 8 muestras con un 2,65 % de la extensión de la pintura. Con ello se observa que el negro es muy importante en la extensión de los colores de la obra, pues ocupa la segunda área de su superficie, tras el ocre, que es el color más extendido y habiendo cuatro áreas más con extensiones inferiores (*violeta*, *beige*, amarillo medio y amarillo oscuro).

El negro en la obra de José Guerrero *Black Ascending* es un color "vivo", lleno de matices que hacen vibrar la mirada del espectador, debido a su rica cromaticidad y al contraste que ofrece frente a otros valores cromáticos de la obra (ocre, *beige*, violeta, amarillo medio y amarillo oscuro), aportándole riqueza visual, de ahí su gran significación y destacada importancia.

Conociendo previamente que el material que usó el artista para pintar *Black Ascending* es el óleo sobre lienzo, así figura en su ficha técnica (Centro José Guerrero s. f. b), también se han podido ofrecer datos colorimétricos de la obra en gráficos e imágenes que se facilitan aquí para poder observar, mediante los resultados comparativos de un posible nuevo estudio colorimétrico hecho en un futuro, si los colores de la obra han sufrido cambios y, en el caso de que así haya sido, pasar a determinar si las condiciones ambientales de conservación mantenidas fueron las idóneas o no y deben ser optimizadas. Estos cambios se podrán determinar mediante estos estudios técnicos antes que lo observado por una inspección visual, ayudando a paliar el daño antes de que éste prolifere, mejorando las condiciones ambientales de conservación.

## Reflexiones

Una reflexión más personal de la obra del artista es aquella en la que se piensa que José Guerrero fue un amante del color, un pintor colorista en cuyos cuadros este elemento

surgió como manifestación de su personal percepción sensorial y sinestésica de su entorno y de sus experiencias de vida.

En el cuadro *Black Ascending* las manchas de color negro son un signo de lucha por renovar la creatividad partiendo de lo conocido y lo vivido, de la tradición y de la emoción producida por la incansable búsqueda plástica del artista que está presente en la mayoría de sus obras, como evocación de su pasado, como vigía de su trayectoria y como sello personal de su creatividad.

Observando los resultados del análisis cromático hecho a *Black Ascending*, puede decirse que el uso del color negro en esta pintura tiene un excelente poder comunicativo e, incluso, tuvo para el artista un valor terapéutico siendo un reclamo visual para el observador de este cuadro, que, además, presentan contraste luminoso, inquietud contemplativa, viveza sensorial y riqueza de color.

Estas tres reflexiones previas se han obtenido a partir de los textos consultados sobre José Guerrero (Centro José Guerrero 2021) (Baena 2014), (Centro José Guerrero s. f. a) en este trabajo. Además, en la tesis doctoral *Estudio conservacional y análisis material de obras de arte contemporáneo. Un caso experimental: colección del Centro José Guerrero* (Bellido 2010) se han analizado de forma parecida a este estudio (aunque el análisis aportado en él es original, respecto al color negro) 11 obras en total de este artista, donde puede ampliarse o completarse la información que aquí se ofrece.

## Referencias

- ARGOTE, J. I. (2010). *Expresionismo abstracto. Etapas y tendencias en la Escuela de Nueva York. Clyfford Still (1904-1980)*. <http://asociacionceat.org/aw/1/still.htm> [Fecha de consulta el 09.09.2023].
- BAENA, F. (2014). Biografía de José Guerrero. En *José Guerrero. The Presence of Black 1950-1966* [José Guerrero. Presencia del negro 1950-1966]. Granada: Centro José Guerrero y Patronato de la Alhambra y del Generalife. <http://www.centroguerrero.es/wp-content/uploads/2016/01/GUERRERO-PRESENCE-OF-BLACK-red50.pdf> [Fecha de consulta el 09.09.2023].
- BELLIDO MÁRQUEZ, M. C. (2010). *Estudio conservacional y análisis material de obras de arte contemporáneo. Un caso experimental: colección del Centro José Guerrero* [Tesis doctoral]. [Universidad de Granada. https://digibug.ugr.es/handle/10481/5635](https://digibug.ugr.es/handle/10481/5635) [Fecha de consulta el 09.09.2023].
- BORREGO JIMÉNEZ, M. A. (2012). *Preparación de archivos para la impresión digital* [recurso electrónico]. Antequera (Málaga): IC editorial.
- CAPILLA I PEREA, P., ARTIGAS, J. y PUJOL, J. (dirs.) (2002). *Fundamentos de colorimetría*. Valencia: Universidad de Valencia.

Centro José Guerrero (s. f. a). *José Guerrero: Biografía*. <http://www.centroguerrero.es/jose-guerrero/biografia/> [Fecha de consulta el 09.09.2023].

Centro José Guerrero (s. f. b). *Colección*. <https://centroguerrero.es/coleccion/black-ascending-1962-1963/> [Fecha de consulta el 09.09.2023].

Centro José Guerrero (2021). *Centro Guerrero. 25/40. Presence of Black. Joan Fontcuberta* [Centro José Guerrero.25/40: Presencia del negro. Joan Fontcuberta]. <https://blogcentroguerrero.org/2021/04/40-pinturas-en-busca-de-voz-25-presence-of-black/> [Fecha de consulta el 09.09.2023].

Europa Press (22 de noviembre de 2014). Juan Vida y Luis Gracia Montero analizan el lunes la obra de José Guerrero *Black Ascending*. *Europa Press*. 20 minutos. <https://www.20minutos.es/noticia/2304148/0/juan-vida-luis-garcia-montero-analizan-lunes-obra-jose-guerrero-black-ascending/> [Fecha de consulta el 09.09.2023].

GRAU, E. (1999). *Gramática del color*. Valencia: Institució Alfons el Magnànim.

GUERRERO, JOSÉ (s. f.) *Archivo José Guerrero*. Citado en José Guerrero. *The Presence of Black 1950-1966*, 34. Granada: Centro José Guerrero y Patronato de la Alhambra y del Generalife. [http://www.centroguerrero.es/wp-content/uploads/2016/01/GUERRERO-PRESENCE-OF-BLACK\\_red50.pdf](http://www.centroguerrero.es/wp-content/uploads/2016/01/GUERRERO-PRESENCE-OF-BLACK_red50.pdf) [Fecha de consulta el 09.09.2023].

GUERRERO, JOSÉ (2018). *Psicología del color: cómo actúan los colores sobre los sentimientos y la razón* (1ª ed., 24ª reimp. ed.). J. Chamorro-Mielke (trad.) Barcelona: Gustavo Gili.

LEÓN, C. (2017). *Cuarenta pinturas en busca de voz 16/40. Paisaje horizontal*. Granada: Centro José Guerrero. <http://www.centroguerrero.es/actividades/cuarenta-pinturas-busca-voz-1640-5-junio-2017/> [Fecha de consulta el 09.09.2023].

LÓPEZ, A. Y DI SARLI, A. R. (2016). EL modelo CIELAB, las fórmulas de diferencia de color y el uso de la norma europea EN 12878 en morteros y hormigones coloreado. *Ciencia y tecnología de los materiales*, 16, 41-53.

LUCAS, A. (30 del enero de 2015). Guerrero explosión en Manhattan. *El Mundo*. <https://www.elmundo.es/cultura/2015/01/30/54ca8dd4268e3ea3158b4589.html> [Fecha de consulta el 09.09.2023].

MORENO, T. (1996). *El color: historia, teoría y aplicaciones*. Francisco Hernández (pról.). Barcelona: Ariel.

ORTIZ, F. G. (2002). *Procesamiento morfológico de imágenes en color: aplicación a la representación geodésica* [Tesis doctoral]. Universidad de Alicante. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/10053> [Fecha de consulta el 09.09.2023].

ORTUÑO, P. (1980). Conversación con José Guerrero. En: *José*

*Guerrero. Catálogo de exposición (diciembre 1980-enero 1981)*, pp. 85- 151. Madrid: Ministerio de Cultura. Dirección General de Bellas Artes, Archivos y Bibliotecas.

PALAZZI, S. (1995). *Colorimetria: la scienza del colore nell'arte e nella tecnica*. [Colorimetría: la ciencia del color en el arte y la tecnología]. Florencia: Nardini.

PHILIPS-INVERNIZZI, B., DUPONT, D. & CAZÉ, C. (2001) Bibliographical review for reflectance of diffusing media [Revisión bibliográfica de reflectancia de medios difusores]. *Optical Engineering* 40(6), 1082–1092.

PRADAS GALLARDO, C. (3 de mayo de 2018). Cómo afectan los colores al estado de ánimo. *Psicología-online*. <https://www.psicologia-online.com/como-afectan-los-colores-al-estado-de-animo-329.html> [Fecha de consulta el 09.09.2023].

QUESADA, E. Y HENARES, I. (2018). *Orígenes de José Guerrero*. Granada: Real Academia de Bellas Artes Nuestra Señora de las Angustias.

ROMERO, Y. (2014). José Guerrero. Los años americanos. En: *José Guerrero. The Presence of Black 1950-1966* [José Guerrero. Presencia del negro 1950-1966]. Granada: Centro José Guerrero y Patronato de la Alhambra y del Generalife. [http://www.centroguerrero.es/wp-content/uploads/2016/01/GUERRERO-PRESENCE-OF-BLACK\\_red50.pdf](http://www.centroguerrero.es/wp-content/uploads/2016/01/GUERRERO-PRESENCE-OF-BLACK_red50.pdf) [Fecha de consulta el 09.09.2023].

ROMERO, Y. Y BAENA, F. (2014). José Guerrero. The Presence of Black 1950-1966. José Guerrero. En: *The Presence of Black 1950-1966* [José Guerrero. Presencia del negro 1950-1966]. Granada: Centro José Guerrero y Patronato de la Alhambra y del Generalife. [http://www.centroguerrero.es/wp-content/uploads/2016/01/GUERRERO-PRESENCE-OF-BLACK\\_red50.pdf](http://www.centroguerrero.es/wp-content/uploads/2016/01/GUERRERO-PRESENCE-OF-BLACK_red50.pdf) [Fecha de consulta el 09.09.2023].

#### Autor/es



**María del Carmen Bellido Márquez**

[cbellido@ugr.es](mailto:cbellido@ugr.es)

Facultad de Bellas Artes. Universidad de Granada (UGR)

<https://orcid.org/0000-0002-9165-0919>

Doctora en Bellas Artes y Profesora Titular en la Universidad de Granada. Se graduó en Bellas Artes (2004), también obtuvo su Doctorado (2010) con la Tesis Doctoral, titulada, *Estudio de los Materiales y Análisis de la Conservación de las Obras de Arte Contemporáneo. Un Estudio de Caso Experimental: la Colección Centro José Guerrero*. Realizó un Máster en Museología (2006) (UGR) y obtuvo el Certificado en Aptitud Pedagógica (2005) (UGR). Recibió el Premio Nacional de Fin de Carrera 2003-04 (Ministerio de Educación y Ciencia) y el Premio Extraordinario de Doctorado en Humanidad 2009-2010 (UGR). Enseña en el Grado en Bellas Artes (UGR) y en el Máster en Producción e Investigación en Arte (UGR) y, además, dirige Tesis Doctorales. Pertenece a los grupos de investigación:

IAI (Universidad Francisco de Vitoria, Madrid) y HUM-450 (Junta de Andalucía). Ha sido IP de una Acción Integrada entre la Universidad de Granada y la Universidad de Beira Interior. Ha participado en varios proyectos de investigación y, entre ellos, en el proyecto I + D "Acis & Galatea", ref: S2015 / HUM-3362 cofinanciado entre la Comunidad de Madrid y el Fondo Social Europeo o "Aplicación de TIC para una correcta conservación, gestión y socialización inclusiva del complejo alfarero hispano-romano del campus universitario de Cartuja (Granada)" ref: B-HUM-16-UGR20, proyecto FEDER. Tiene reconocido 2 Tramos de Investigación por la Comisión Nacional de Evaluación de la actividad Investigadora (CNEAI). Ha publicado en revistas científicas de impacto. Ha participado en eventos para difundir su investigación. Ha realizado becas de FPI, FPU y formación en varias organizaciones internacionales, entre ellas la Fundación Thomas Bata (República Checa), la Universidad de Aveiro, la Universidad de Málaga y Universidad Complutense de Madrid y la Universidad de Lisboa. Ha expuesto obras escultóricas, principalmente en metal, pero también fotografía, video y pintura en exposiciones internacionales y nacionales, siendo las internacionales todas colectivas y las nacionales colectivas e individuales.

---

Artículo enviado 02/01/2023  
Artículo aceptado el 09/01/2024



<https://doi.org/10.37558/gec.v25i1.1174>

## El primer plano de obra del palacio de Carlos V en la Alhambra (h. 1532-36)

Antonio Jesús García Ortega, Antonio Gámiz Gordo

**Resumen:** Entre los primeros dibujos para la construcción del palacio de Carlos V en la Alhambra se conserva una importante traza anónima en la Real Biblioteca de Madrid, que representa el edificio más unas plazas porticadas. Se ha estudiado poco su proceso de dibujo y aspectos técnicos como su escala y dimensiones, aquí analizados. Para ello se ha consultado y digitalizado la traza, transcribiéndose por primera vez sus trazados incisos. Su análisis revela la génesis de la planta, evidenciando significativas intenciones de diseño. También se estudian sus cotas, proporciones y la concordancia con lo construido, aportándose nuevos indicios sobre su finalidad y datación. Todo ello permite afirmar que estamos ante el primer plano de obra conocido del edificio, que determinó su forma y dimensiones definitivas. Se trata de un documento con valor patrimonial propio, imprescindible para entender y conservar un palacio incluido en la Lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO.

**Palabras clave:** palacio, Carlos V, dibujo, traza, construcción, Renacimiento, Alhambra

### The first architectural drawing of the Palace of Charles V in the Alhambra (c. 1532-36)

**Abstract:** Among the first drawings of the construction of the Palace of Charles V in the Alhambra, a remarkable anonymous trace is preserved at the Royal Library in Madrid illustrating the edifice and various arcaded squares. The drawing process of this document, together with technical aspects such as its scale and dimensions have been analyzed in the present work. To this aim, the trace has been researched, digitalized, and its incised lines transcribed for the first time. Its analysis unveils the original floor plan, revealing significant and primordial design intentions. The plan dimensions, proportions and consistency with the final construction provides new evidence on its purpose and dating. All this confirms this piece to be the first architectural drawing known of the building, dictating its definite shape and dimensions. A document with its own heritage value, essential to understand and preserve a palace part of UNESCO World Heritage List.

**Keywords:** palace, Charles V, drawing, trace, construction, Renaissance, Alhambra

### O primeiro plano de obra do palácio de Carlos V na Alhambra (c. 1532-36)

**Resumo:** Entre os primeiros desenhos para a construção do palácio de Carlos V na Alhambra, conserva-se um importante esboço anónimo na Real Biblioteca de Madrid, que representa o edifício mais algumas praças com arcadas. O processo de desenho e aspetos técnicos, como escala e dimensões, foram pouco estudados e são aqui analisados. Para isso, consultou-se e digitalizou-se o esboço, transcrevendo-se pela primeira vez os seus traçados incisos. A sua análise revela a génesis da planta, evidenciando significativas intenções de desenho. Também foram estudadas as suas cotas, proporções e a concordância com o que foi construído, fornecendo novos indícios sobre a sua finalidade e datação. Tudo isso permite afirmar que estamos perante o primeiro plano de obra conhecido do edifício, que determinou a sua forma e dimensões definitivas. Trata-se de um documento com valor patrimonial próprio, imprescindível para entender e conservar um palácio incluído na Lista de Património Mundial da UNESCO.

**Palavras-chave:** Palácio, Carlos V, desenho, esboço, construção, Renascimento, Alhambra

## Introducción, objetivos y metodología

En 1526, durante la estancia nupcial del emperador Carlos V y doña Isabel de Portugal en Granada, se decidió construir un nuevo palacio junto a las viejas estancias nazaríes de la Alhambra. Se ideó un innovador edificio de planta cuadrada, con un gran patio circular y fachadas clásicas con portadas. Es una de las primeras obras del Renacimiento español, un edificio muy destacado en el contexto arquitectónico europeo del siglo XVI, y hoy está incluido en la Lista de Patrimonio Mundial de la Unesco<sup>[1]</sup>. Por todo ello, ha sido objeto de abundantes estudios entre los que destaca el libro de Rosenthal (1988), diversas actas de congresos, catálogos de exposiciones u obras colectivas. Entre ellos cabe mencionar el trabajo AA.VV. (2001), con un importante extracto bibliográfico, y un destacado congreso (Galera y Frommel 2018). Los aspectos históricos y atribuciones de Rosenthal (1988) han sido discutidos por Tafuri (1988) y Marías (2018), y sobre las trazas pueden consultarse Ortega (2001: 394-95) o Gámiz (2001; 2008).

Tras un período de cierta incertidumbre, el solar para el palacio se confirmaría a finales de 1531 (Gámiz 2001: 97). La apertura de zanjas de cimentación está documentada en mayo de 1532, aunque se desconoce la marcha de las obras en los primeros años (Marías 2018: 137; Rosenthal 1988: 59). En 1536 los muros estarían iniciados, pues quedaron recogidos en pagos de obra de 1537. La construcción avanzaría, con interrupciones, a lo largo del siglo XVI, pero el edificio quedó inconcluso al paralizarse los trabajos en 1637 [Figura 1]. Desde entonces hubo distintas propuestas para completar y usar el edificio, hasta que en las décadas de 1920-1930 Leopoldo Torres Balbás, Arquitecto-Director de la Alhambra, acometió diversas intervenciones para establecer allí el Museo de la Alhambra (Vílchez 1988: 72-89; Muñoz 2005: 83-88). A finales del siglo XX fue objeto de una importante intervención para adecuarlo a su actual destino como Museo de la Alhambra y Museo de Bellas Artes de Granada (Rodríguez 1995). Todo ello ha generado una abundante documentación gráfica, conservándose en el Archivo de Planos de la Alhambra cerca de quinientos planos o dibujos sobre el palacio (Gámiz 1998).

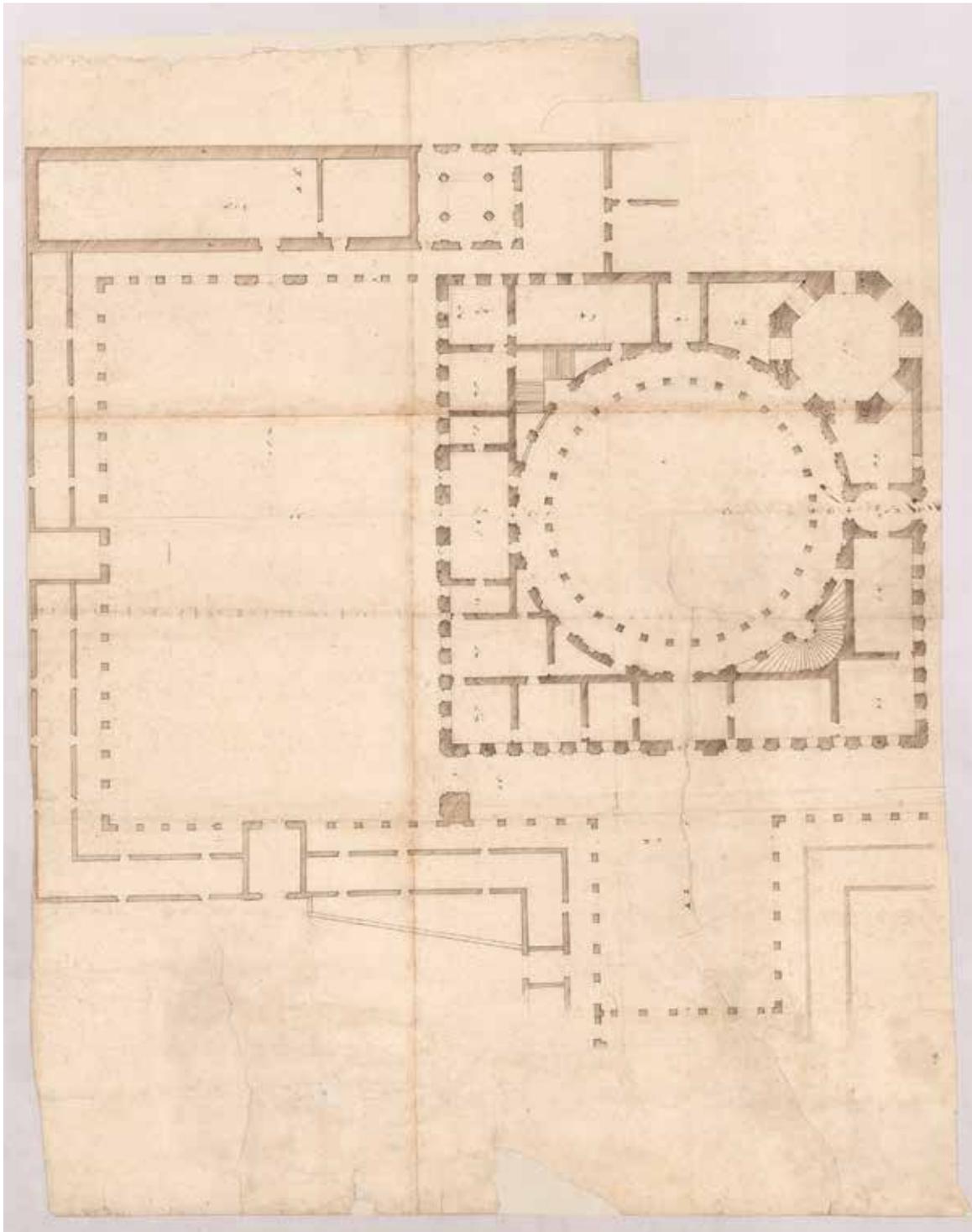
A pesar de su importancia, el proceso de diseño inicial del palacio es poco conocido. Del siglo XVI se conservan tres importantes plantas a escala, anónimas y sin fecha. Una traza custodiada en el Archivo Histórico Nacional<sup>[2]</sup>, que representa sólo el palacio, puede datarse hacia 1528-32, siendo posiblemente la más antigua de las tres (García y Gámiz 2022). En la biblioteca del Palacio Real de Madrid se conservan las otras dos. La mayor, conocida como "traza grande"<sup>[3]</sup>, recoge el palacio y su implantación en la Alhambra. Tiene un gran valor documental por ser el primer levantamiento de un amplio sector de la ciudadela, incluyendo la Alcazaba y la Casa Real Vieja.



**Figura 1.-** El palacio de Carlos V en la Alhambra: fotografía desde la Alcazaba (J. Laurent, h. 1870) y del patio circular inconcluso (M. Junghändel, h. 1885). Colección particular autor.

El otro plano de la Real Biblioteca es el objeto de esta investigación. Representa sólo el palacio junto a unas plazas porticadas adyacentes, que no llegaron a construirse [Figura 2]. Ha suscitado menor interés que los anteriores, por parecer una cuidadosa copia parcial de la traza grande, dibujando la planta a mayor tamaño y con cambios puntuales. Según Rosenthal (1988: 42) es el que más se aproxima a lo finalmente construido. La traza está exhaustivamente acotada y sus aspectos técnicos parecen bastante desarrollados. Todo ello, junto a su precisión gráfica, son características de una fase de diseño avanzada que han sido poco estudiadas hasta ahora. Así pues, este plano resulta de gran interés para comprender el diseño original, y también en la valoración de intervenciones arquitectónicas pasadas o futuras, para una adecuada conservación del edificio.

El objetivo general de esta investigación se centra en analizar cómo se resolvieron los principales aspectos formales y dimensionales del palacio, que mantienen una estrecha relación con las características gráficas y técnicas de la traza. Como señala Gentil (1988: 12-13), son cuestiones poco atendidas por la historiografía: "... salvo contados trabajos sistemáticos, los procesos gráficos del proyecto de arquitectura han participado de unas consideraciones más o menos simples, y se ha resuelto su intervención en el diseño con apreciaciones genéricas en las obras generales, cuando no con meros juicios previos".

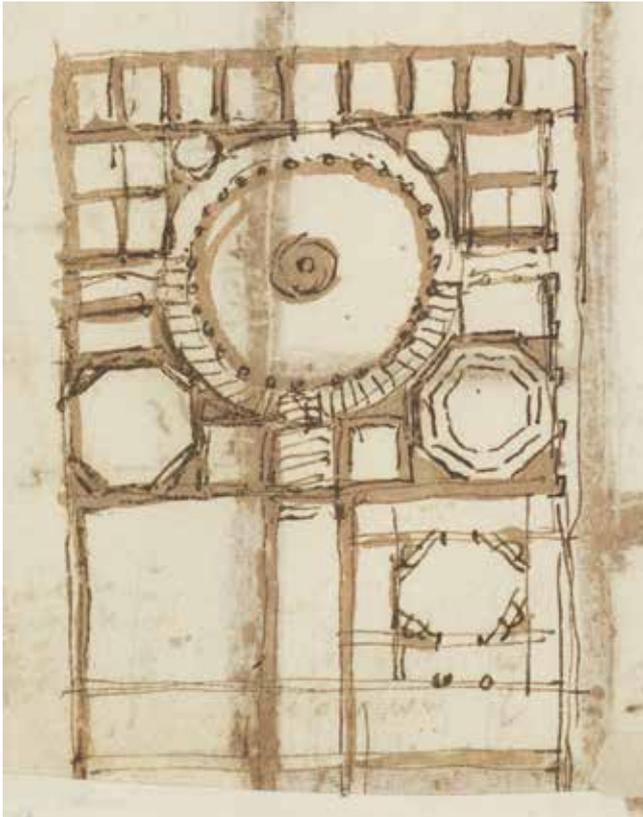


**Figura 2.-** Trazo del palacio de Carlos V [norte arriba]. Biblioteca del Palacio Real de Madrid, Patrimonio Nacional, ref. IX/M/242/2(2).

En estas cuestiones, de forma y dimensión, residen destacados valores arquitectónicos del palacio de Carlos V. La forma guarda estrecha relación con los procesos de trazado y geométricos del dibujo de la planta. En este trabajo dichos aspectos se estudian por primera vez a partir de los trabajos incisos, hasta ahora prácticamente desconocidos, desvelando significativos aspectos compositivos de la planta. La traza resolvió con rigor geométrico esquemas y ensayos tipológicos del Renacimiento italiano, que se

plasmaron con frecuencia en imprecisos bocetos [Figura 3] (Galera y Frommel 2018).

Por otra parte, se estudian las proporciones y cualidades dimensionales de la traza, contrastándolas con la realidad construida para valorar la precisión de lo dibujado. Todo ello aporta nuevos datos sobre la finalidad y datación de la traza, cuestiones aún debatidas. También permite, novedosamente, relacionarla con el llamado “alzado

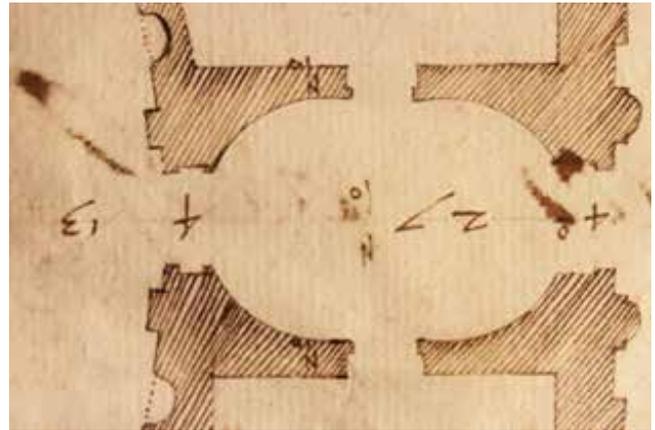


**Figura 3.-** Baldassarre Peruzzi, *pianta di villa o palazzo*. Florencia, Gabinetto dei Disegni e delle stampe degli Uffizi, inv. 552 A (verso).

Burlington” de la fachada oeste, el único general del siglo XVI conservado<sup>[4]</sup>.

En la metodología de análisis formal y dimensional planteada, en primer lugar se ha examinado directamente el dibujo original, custodiado en la cámara de seguridad de la Biblioteca del Palacio Real. Ha sido fotografiado por sectores con luz rasante, utilizando un cámara réflex Canon EOS 100D con objetivo EFS 60mm f/2.8 Macro USM, de alta precisión a corta distancia [Figura 4]. También se ha obtenido un nuevo escaneado en alta resolución (600 ppp), que aporta mayor nivel de detalle que las reproducciones hasta ahora disponibles. Esto ha permitido identificar y transcribir por primera vez de manera sistemática las líneas incisas sobre el papel. Esta valiosa información gráfica se ha gestionado con un software de CAD y se han analizado y relacionado los trazados auxiliares con lo finalmente entintado. Ello ha posibilitado también un preciso análisis dimensional tanto de las cotas como de lo dibujado, cuantificable gracias a una escala gráfica que el tracista representó con unos discretos puntos, hasta ahora inadvertida. La comparación con lo construido se realiza a partir de una precisa planimetría digital actualizada (formato dwg), facilitada por el arquitecto director de las obras del palacio en la década de 1990 para su nuevo uso museístico.

También se ha considerado necesario plantear un análisis previo de las características generales de la traza y la



**Figura 4.-** Fotografía del vestíbulo oriental que muestra características gráficas del dibujo (líneas incisas, relleno de muros y acotado) y el verjurado del papel.

representación de la arquitectura, atendiendo al contexto del dibujo de la época. Ello ha evidenciado destacadas novedades respecto a los dibujos góticos peninsulares, no solo por las nuevas formas clásicas utilizadas, sino también por la incorporación de recursos gráficos y técnicos característicos del dibujo del Renacimiento italiano. El estudio de estos aspectos, junto a los de trazado, proporción y dimensión aludidos, facilita la comprensión del valor documental de esta importante traza del siglo XVI y del propio palacio construido.

### **Dibujo, convenciones gráficas y cotas rotuladas**

La traza es un rectángulo que mide 640 x 810 mm, aunque tiene faltas o deterioros, lo que explicaría que el dibujo del muro oeste de la plaza esté incompleto, o también el rótulo “[Alha]mbra de Granada” en el reverso. Se formó con cuatro papeles verjurados de diferente tamaño cuidadosamente pegados entre sí, apreciándose dos marcas de agua con las siglas “MI”, lo que data el papel utilizado en la década de 1520 (Rosenthal 1988: 29-30). El dibujo se trazó primero usando finísimas líneas incisas con punzón, difícilmente perceptibles, que a veces dejan un leve trazo gris. Con puntos incisivos se marcaron centros de arcos, distancias de peldaños de escalera o puntos necesarios para dibujar el patio. La delineación utilizó una regla y compás, aunque los elementos pequeños o curvilíneos se dibujaron a mano alzada.

La traza incorporó cotas en pies, precisándose hasta la media unidad, rotulada como una pequeña “o” a modo de superíndice [Figura 4]. Es una abreviatura presente en planos peninsulares coetáneos, aunque acotados con números romanos (Ibáñez 2019: 18, 251, 280, 304). Esto eludió una notación con fracciones, más precisas que la aproximación a medio pie, ya frecuentes en planos italianos que estaban muy bien acotados. Cada cota se rotuló en la dirección de la medida, y sin líneas auxiliares, que en España apenas se usaron hasta los planos del Escorial del último tercio del XVI. Sólo ocasionalmente se

aprecian unas pequeñas cruces en las plazas porticadas y la capilla, delimitando la distancia acotada, también usadas en planos renacentistas italianos.

Las cotas no presentan una orientación de lectura única. Se usaron exclusivamente números arábigos, raros en planos españoles, siendo uno de los primeros el de la Capilla Real de la catedral de Sevilla de 1537<sup>[5]</sup> (Ibáñez 2019: 53-57). En cambio, eran muy habituales en dibujos renacentistas italianos. Peruzzi, particularmente, usaba también números romanos en algunos planos, quizás destinados al promotor, reservando los arábigos para los dibujos más técnicos y personales, por ser más adecuados para operaciones aritméticas (Ceriani 2015: 2). Parece además que cuando se usaron los números arábigos en documentos españoles fue para uso personal del tracista (Jiménez 2011: 401). Por todo ello, la traza pudo ser concebida principalmente como un documento técnico enfocado a la ejecución de las obras, más que a la presentación de una idea al promotor del palacio.

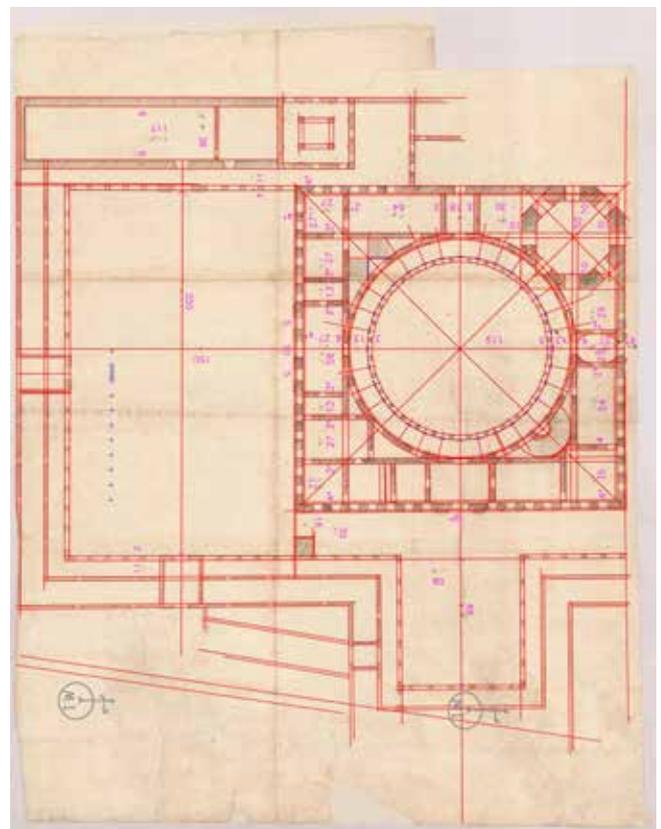
Este carácter técnico se trasluce en la discreta representación de la escala gráfica en la plaza oeste, apenas visible. Se entintaron unos puntos equidistantes marcando diez intervalos, con el segundo subdivido en otros diez, estableciéndose cien unidades. No se especificó la unidad de medida (que serían pies), y también por ello, la traza parece destinada al propio proyectista, o a otros maestros cualificados. Su representación explícita era relativamente novedosa en España, aunque se dudaba en la posición de las subdivisiones menores entre el primer o último intervalo (Jiménez 2011: 403), optándose aquí extrañamente por el segundo. Su grafiado como puntos equidistantes difiere de la regla graduada que aparece en muchos planos renacentistas italianos.

En cambio, la representación de la arquitectura es novedosa en el contexto español, prescindiendo de recursos frecuentes en el dibujo gótico, como abatimientos de puertas, chimeneas o del abovedamiento, o el dibujo de niveles superpuestos. En la traza estudiada solo se representa la planta baja, rellenándose los elementos portantes con un rallado oblicuo, solo interrumpido en los huecos. Este relleno de muros todavía era infrecuente en la península ibérica. Salvo en las otras dos trazas del palacio, el primer caso español conocido es el citado de la Capilla Real hispalense en 1537. Sin embargo, aparece en muchos dibujos del Renacimiento italiano y en la traza analizada refuerza la expresividad del paramento de la galería anular, o el espacio del vestíbulo oriental [Figura 4]. Incluso los soportes del patio se rellenaron y por ello Rosenthal (1988: 225) supuso que eran pilares de una arcada, una solución distinta a la columnata adintelada construida. Quizás representaban las basas cuadradas de columnas no grafiadas, o unos pedestales, solución ésta habitual en plantas superiores de patios. También en las portadas oeste y sur se grafiaron pedestales dobles, que recibirían una pareja de columnas tampoco dibujadas.

## El diseño de la planta a partir de los trazados incisos

El uso de trazados incisos con punzón, como líneas auxiliares previas al entintado, era una técnica gráfica habitual de la época (Ibáñez 2019: 32-35). Su estudio tiene gran interés para entender el proceso de dibujo, según se ha evidenciado en la traza del propio palacio que se conserva en el Archivo Histórico Nacional (García y Gámiz 2022). En esta investigación se han transcrito por primera vez todos los que aparecen en esta traza, lo que permite conocer la génesis formal de la planta, y evidencia algunas intenciones significativas del diseño [Figura 5].

Resulta evidente una relación entre el palacio y sus plazas, ya que los ejes de simetría y las fachadas del primero se prolongan para establecer relaciones formales con las segundas. No obstante, dichas zonas exteriores presentan menor definición que el palacio y algunos desajustes formales. La plaza oeste se descentró del eje este-oeste del palacio, como evidencia el portal de acceso, y sus crujías perimetrales no tienen particiones. Éstas ni siquiera se completaron en la plaza sur, ni las rampas que subían desde la puerta de la Justicia, sólo insinuadas por incompletas líneas incisas. También en el sector norte la articulación con los palacios nazaríes estaría por decidir, con líneas incisas inacabadas que no ofrecen mayor información. Esta zona, actual entrada de turistas, aún hoy acusa ciertas dudas, presentando el palacio tres alturas debido al desnivel del terreno, cuando parece concebirse para dos.



**Figura 5.-** Transcripción de líneas incisas (rojo), puntos incisos (azul oscuro), cotas (magenta) y escala gráfica del dibujo (azul) y marcas de agua de los papeles (gris). Elaboración propia

Una de las singularidades del trazado del palacio es la conciliación de la geometría cuadrada con el círculo del patio. Parece obedecer a un procedimiento de dibujo sencillo, que hasta ahora no se había analizado a partir de las propias líneas incisas, verdadero reflejo del proceso gráfico utilizado, aquí restituído por primera vez [Figura 6]. El cuadrado exterior sería el origen de la composición, como sugiere la línea incisa más larga de su fachada oriental. Trazado este perímetro, adecuándose al solar, se determinaría su centro, ejes de simetría y diagonales. Posiblemente, por giro de un eje se obtendría el cuadrado interior, un proceder que recuerda a la cuadratura gótica pero que solo dibuja las líneas imprescindibles. Esto suponía también la determinación del ancho de la crujía perimetral y del espacio disponible para el patio y su galería. Tras ello se definiría la crujía perimetral, el octógono de la capilla y la organización del patio, posteriormente analizados. Finalmente se completaría la planta, precisando puertas o aumentando algunas estancias para aprovechar los ángulos del patio.

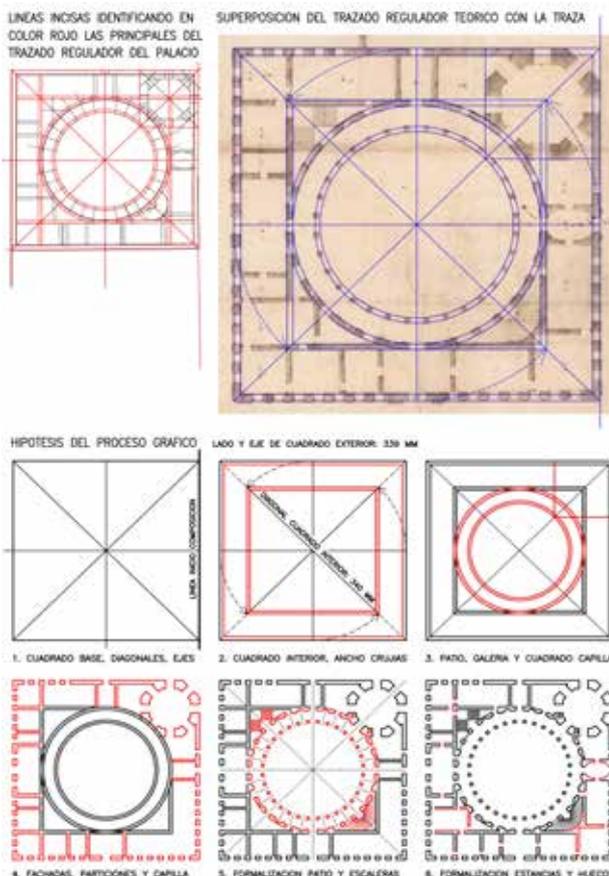
La organización del patio y su galería tiene una concepción radial, evidenciada por los trazados incisos, que potencian los ejes de simetría y las diagonales. Los dos ejes ortogonales del cuadrado posicionaron los vestíbulos, de formalización e importancia desigual, pero con huecos al patio similares. En sus diagonales, salvo en la esquina suroeste, se formalizaron

espacios singulares: la capilla octogonal o las escaleras principales. Desde el centro se trazaron otras líneas radiales menores para la galería anular, con 32 soportes. En cada intercolumnio se marcaron tres puntos incisos. El central coincidía con la línea radial del vano, posicionando las hornacinas y puertas del muro perimetral. Entre ellas destacan los tres accesos del vestíbulo oeste, trazados en esviaje según una explícita línea incisa radial del patio, para articular la conexión visual entre ambos espacios. Sin embargo, este esviaje cambió al construirse, ya que los huecos laterales se modificaron, alterándose una clara intención formal del diseño inicial.

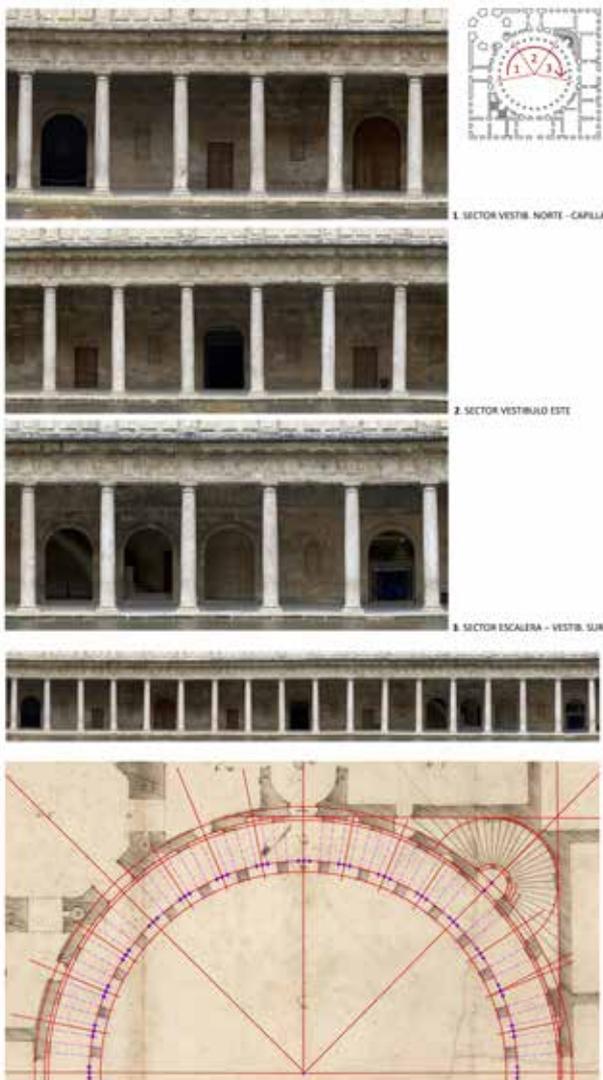
Otros dos puntos incisos en los vanos de la galería fijaban el ancho de las hornacinas o las puertas pequeñas, simplemente colocando una regla desde el centro del patio. Así se obtenía también el ancho de las pilastras del muro perimetral, a partir del soporte de la galería. El ritmo alterante de puertas y hornacinas conformó una sofisticada composición del paramento, con referentes italianos estudiados por Rosenthal (1988: 227) pero sin antecedentes españoles. Su proceso de control formal, desconocido hasta ahora en detalle, usa esta sencilla construcción geométrica para que los elementos del corredor (puerta u hornacina) se apreciaran desde el centro del patio en el eje del intercolumnio [Figura 7]. Aunque esto tenía cierta repercusión visual, ya que se percibían como un tercio del vano, se trataría de un mero procedimiento de control formal.

El dibujo de algunos elementos singulares evidencia un gran pragmatismo gráfico, asistido además por trazados geométricos sencillos. Pese a ello, el nivel de detalle y precisión es sustancialmente mayor al de las otras dos trazas, sugiriendo que estamos ante un plano destinado a la ejecución del edificio. La escalera semicircular usó como centro la intersección de la diagonal con la circunferencia del patio. Luego por simple tanteo, como delata una rectificación, se trazó un arco tangente al muro, ahorrándose determinar el punto exacto de tangencia. No mayor esfuerzo mereció el vestíbulo oriental, dibujado con una imprecisa forma pseudo-oval en las otras dos trazas. Aquí se aproximó a un rectángulo con hemiciclos, tal y como se construyó, por ser más fácil de abovedar. Debe considerarse que existían casos coetáneos, como la bóveda de Santa María del Salvador hacia 1536-41 (Chinchilla de Montearagón, Albacete), anterior incluso a los señalados por Rosenthal (1988: 177). En la capilla, partiendo del cuadrado envolvente, se obtendría el octógono exterior por giro de la semidiagonal, y después el interior uniendo sus puntos medios. Es un procedimiento similar al detectado en la traza del Archivo Histórico Nacional (García y Gámiz 2022), aunque con diferencias en los husillos de escalera o las hornacinas interiores, éstas finalmente suprimidas. Son aspectos en los que nuestro plano es coincidente con lo construido.

Las líneas incisas de las crujías perimetrales coinciden prácticamente con los muros entintados. Se utilizan trazos auxiliares para el saliente del orden apilastrado o las mochetas de las particiones, un proceder gráfico que aporta gran rigor y precisión al dibujo de la planta. Singularmente,



**Figura 6.-** Arriba: Líneas incisas del palacio identificando las principales del trazado (rojo) y superposición del trazado regulador teórico con la traza (azul). Abajo: Hipótesis del proceso de dibujo. Elaboración propia.



**Figura 7.-** Mitad oriental de planta baja del patio: Trazado con líneas y puntos incisos (líneas discontinuas propias). Fachada desarrollada a partir de fotografía desde el centro (iPhone SE) y detalles. Elaboración propia

algunas particiones entestan contra los huecos, un desajuste que al tracista parece no preocuparle. Los trazados incisos presentan escasas correcciones, salvo en la estancia contigua al vestíbulo sur, optándose finalmente por entestar al hueco. Incluso en la esquina sureste, con líneas incisas que entestaban adecuadamente con la fachada, se prefirió agrandar la estancia. En estas decisiones incidirían otros criterios que se priorizarían, como la dimensión de los espacios o sus proporciones, posteriormente analizadas. Por otros planos históricos posteriores se sabe que la solución dibujada fue además ejecutada en obra y perduró hasta el siglo XX. Entonces se modificaron algunos muros, alterándose las dimensiones y proporciones originales de la traza.

### Dimensiones, proporciones y obra construida

Los aspectos dimensionales de la traza son una destacada cuestión técnica que como señala Ortega (2001: 395) a veces

ha quedado eclipsada por otras consideraciones: “Esta planta siempre se ha observado desde su pregnante traza geométrica, sin tener en cuenta su indisoluble, necesaria y concreta traducción dimensional”. Esta cualidad además es útil para valorar cuestiones de proporción, la concordancia del acotado con la realidad o la coherencia de las cotas con el tamaño de los elementos dibujados a escala.

El acotado del palacio es más exhaustivo que el de las plazas porticadas. Tiene una completa serie de cotas de las crujiás norte, este y oeste, así como del eje este-oeste. Especificaban tanto la anchura de las estancias como los distintos grosores de muros, permitiendo obtener los totales en cada dirección. Establecer los espesores murales era fundamental para iniciar su construcción sobre los cimientos, acotándose en 2,5, 3, 3,5, 4 y 4,5 pies, a veces discrepando con lo dibujado. Los vanos no tienen rotuladas sus medidas, salvo los tres del vestíbulo en la fachada oeste (5, 10 y 5 pies) y el del vestíbulo sur, algo menor (9,5 pies).

Las distancias no acotadas podían obtenerse a partir de la escala gráfica. Ésta representó en 155 mm el equivalente a 100 pies, seguramente castellanos (27,86 cm)<sup>[6]</sup>, suponiendo una escala 1/179. Comparando los valores acotados con los dibujados a escala se comprueba que muchas cotas se obtuvieron midiendo en el plano, con pequeñas variaciones propias del tamaño del dibujo, existiendo una aceptable coherencia. Sin embargo, algunas discrepancias en dimensiones de espacios o muros sugieren que a veces la acotación corrigió el tamaño dibujado. Se trata de un proceder habitual en la profesión del arquitecto y que aparece en algún plano español de finales del XVI<sup>[7]</sup>. Es evidente el afán por determinar con precisión la “medida” del edificio, algo propio de un plano de ejecución [Figura 8].

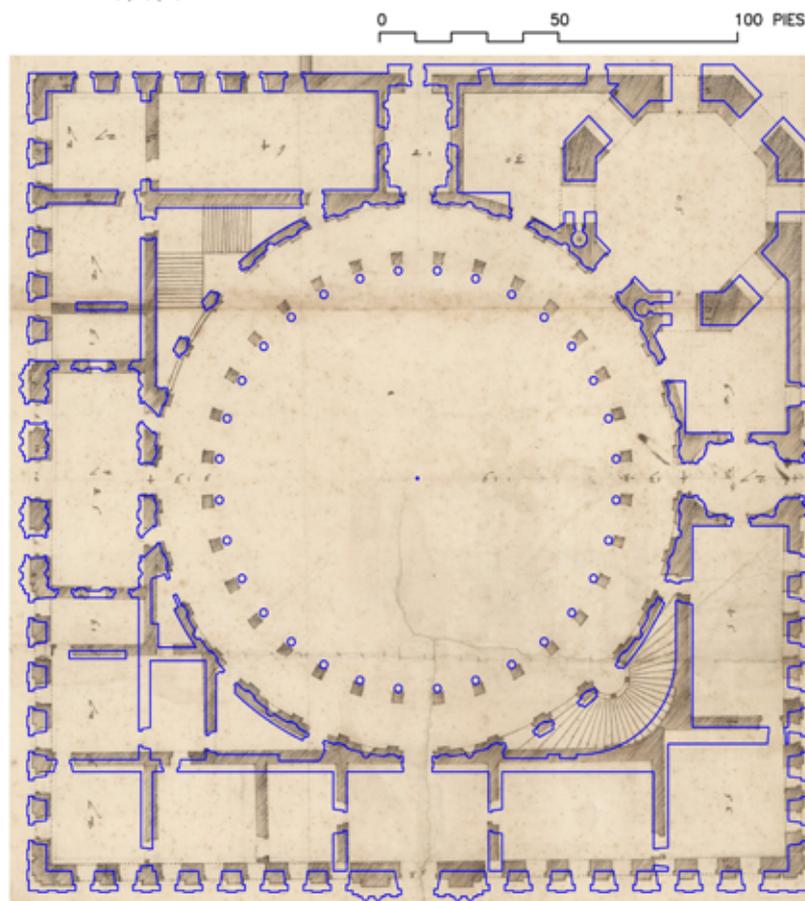
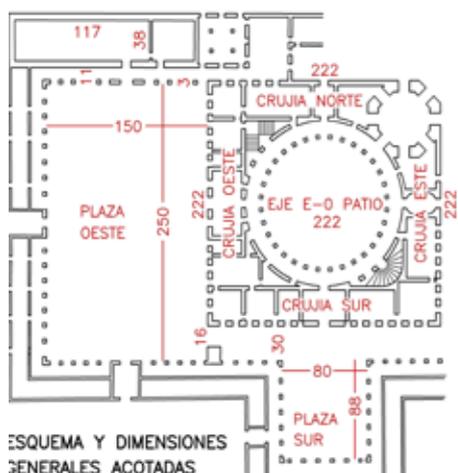
De este modo se consiguió que el acotado del palacio fuera igual en todas las direcciones, 222 pies. Es un valor superior al dibujado, un cuadrado de aproximadamente 218 pies de lado, imperfecto porque las fachadas este y oeste son menores. Estos ajustes supusieron que el patio, la capilla y sus salas anejas se acotarán de forma diferente a lo dibujado; o que los vestíbulos norte y este no quedarán centrados en el acotado, aunque lo estaban gráficamente. Análogamente, la longitud de la gran plaza oeste se dibujó como 245,2 pies, pero se rotuló 250 para ajustarse a la suma del palacio y la calle sur. También la plaza sur se acotaría interesadamente como 88 pies, teniendo 84,6 dibujados.

Esta prevalencia del acotado permitía además ajustar las proporciones, por lo que para su valoración no solo debe atenderse al dibujo. Dichas proporciones son sencillas y de naturaleza numérica, y a menudo explícitas en las propias cotas. Algunas habían sido enunciadas por Vitruvio en el siglo I a. C., y curiosamente el Marqués de Mondéjar, en quien Carlos V delegó la empresa constructiva del palacio,

PALACIO: EJE ESTE-OESTE DEL PATIO										TOTAL EJE ESTE-OESTE: 222/217,6/221,4				
ESPESOR FACHADA O	VESTIBULO OESTE	ESPESOR MURO PATIO	GALERIA DEL PATIO	SOPORTE DEL PATIO	OJO LIBRE DEL PATIO	SOPORTE DEL PATIO	GALERIA DEL PATIO	ESPESOR MURO PATIO	VESTIBULO ESTE	ESPESOR FACHADA E				
4,5/4,6/5,1	27/26,5/26,6	4/3,5/3,8	13/12,9/17,1	3/3,1/3 (basa)	119/116,3/110,4	3/3,1/3 (basa)	13/12,8/17,1	4/3,6/4,5	27/26,7/25,7	4,5/4,5/5,3				
SUBTOTAL CRUJIA O: 35,5/34,6/35,5					SUBTOTAL AMBITO PATIO: 151/148,8/150,6					SUBTOTAL CRUJIA E: 35,5/34,8/35,5				
PALACIO: CRUJIA NORTE										TOTAL CRUJIA NORTE: 222/218,2/221,5				
ESPESOR FACHADA O	ESTANCIA ESQUINA	ESPESOR MURO	ESTANCIA RECTANGULAR	ESPESOR MURO	VESTIBULO NORTE	ESPESOR MURO	ESTANCIA ANTECAPILLA	ESPESOR MURO CAPILLA	CAPILLA OCTOGONAL	ESPESOR FACHADA E				
4,5/4,7/5,1	27/26,6/26,9	2,5/3,5/2,7	64/61,2/64,6	3/3,2/2,9	18/18,8/16,4	3/3,5/2,9	30/27,8/30,3	10/10,3/9	50/48,5/51,6	10/10/8,5				
SUBTOTAL: 98/96/99,3					SUBTOTAL VESTIBULO NORTE: 24/25,5/22,2					SUBTOTAL: 100/96,6/99,4				
PALACIO: CRUJIA ESTE										TOTAL CRUJIA ESTE: 222/215,6/223,12				
ESPESOR FACHADA S	ESTANCIA ESQUINA	ESPESOR MURO	ESTANCIA RECTANGULAR	ESPESOR MURO	VESTIBULO ESTE	ESPESOR MURO	ESTANCIA ANTECAPILLA	ESPESOR MURO CAPILLA	CAPILLA OCTOGONAL	ESPESOR FACHADA N				
4,5/4,5/5,3	35/34,4/34,4	4/3,7/4,5	54/51,8/54,4	2,5/2,7/1,8	20,5/19,8/21,4	2,5/2,5/1,8	29/27,3/29,2	10/10/9	50/48,9/51,6	10/10/9,8				
SUBTOTAL: 97,5/94,4/98,6					SUBTOTAL VESTIBULO ESTE: 25,5/25/25					SUBTOTAL: 99/96,2/99,6				
PALACIO: CRUJIA OESTE										TOTAL CRUJIA OESTE: 222/217,8/220,9				
ESPESOR FACHADA S	ESTANCIA ESQUINA	ESPESOR MURO	ESTANCIA RECTANGULAR	ESPESOR MURO	ESTANCIA RECTANGULAR	ESPESOR MURO	VESTIBULO OESTE	ESPESOR MURO	ESTANCIA RECTANGULAR	ESPESOR MURO	ESTANCIA CUADRADA	ESPESOR MURO	ESTANCIA ESQUINA	ESPESOR FACHADA N
4,5/4,5/5,3	27/26,7/26,8	3,5/3,4/3,2	27/26,4/-	3,5/2,9/-	13/12,2/-	3,5/3,1/2	58/57,9/60,1	3,5/3,6/2	13/12,3/-	3,5/2,6/-	27/26,7/-	3,5/3,6/3,5	27/26,8/26,7	4,5/4,8/4,9
SUBTOTAL: 78,5/76,1/79,1					SUBTOTAL VESTIBULO O: 65/64,6/64,1					SUBTOTAL: 78,5/76,8/77,7				
					PUERTA LAT. PUERTA CENTRAL PUERTA LAT.									
					5/5,8/4,7 10/9,7/9,7 5/5,8/4,7									
PALACIO: CRUJIA SUR										TOTAL CRUJIA SUR: -/218,8/221,4				
PUERTA CENTRAL VESTIBULO SUR 9,5/9,8/9,3														

**AMBITOS EXTERIORES AL EDIFICIO DEL PALACIO**

AMBITO PLAZA ANCHOxLARGO 80x88/79x84,6/-	AMBITO PLAZA ANCHOxLARGO 150x250/149,9x245,2/-
CALLE JUNTO FACHADA SUR 30/29/-	PORTICO PANDA NORTE PILARES Y ANCHO 3/3,3/- 11/11,4/-
ARCO CON PLAZA OESTE 16/16,4/-	PORTICO PANDA SUR PILARES Y ANCHO 3/2,9/- 11/10,9/-
PLAZA SUR	GRAN SALA NORTE ANCHOxLARGO 38x117/35,8x125,7/- MURO NORTE Y MURO SUR 6/5,9/- 6/5,7/-
	PLAZA OESTE

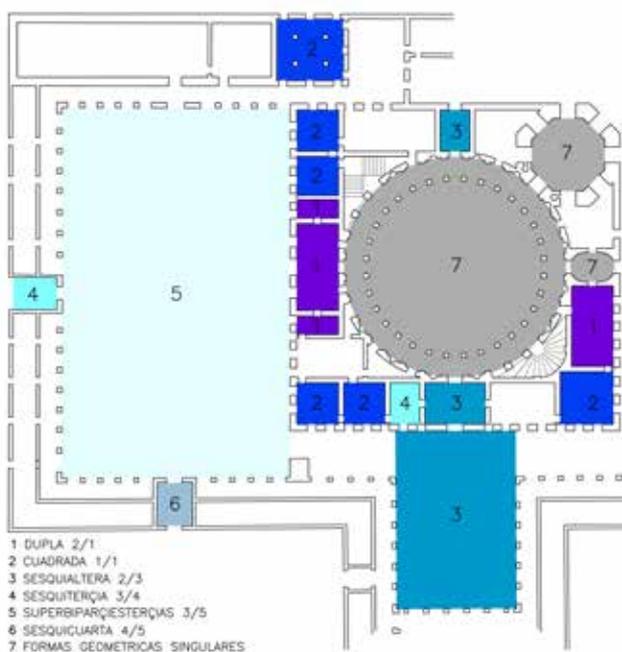


**Figura 8.-** Transcripción y análisis de las cotas: medida acotada / dibujada / construida (en pies castellanos 27,86 cm). Superposición de la trazada con el palacio actual (azul). Elaboración propia

tenía un ejemplar de su obra (Marías 2018: 130 y 133). Otras proporciones aparecen en tratados renacentistas españoles posteriores, como el Libro de Arquitectura de Hernán Ruiz el Joven (h. 1555: 50v.), que incluso les dio nombre [Figura 9].

En el origen del diseño del palacio hay decisiones que implican proporciones evidentes: una geometría cuadrada con un patio circular inscrito. Este uso de formas geométricas singulares para cualificar espacios importantes es también manifiesto en la capilla octogonal o en el vestíbulo oriental pseudo-oval. En la compartimentación de las crujías oeste y sur del palacio se priorizaría la posición, dimensión y proporción de los vestíbulos, y después se definirían las otras estancias. Para muchas es evidente la sencilla proporción dupla, o la cuadrada, aplicada en las esquinas. Algunas estancias de las crujías perimetrales no tienen una proporción reconocible, siendo simplemente el resultado de priorizar otras. En la arquitectura aneja al palacio destacan la gran plaza oeste, de 250x150 pies y proporción 5/3, y la plaza sur de 80x121 pies (incluyendo la calle) que adopta la 2/3. Similares criterios se aplicarían a otros ámbitos, como los portales de acceso.

Por otro lado, se ha comparado dimensionalmente la traza con el edificio construido [Figura 8]. Éste coincide más con lo acotado que con lo dibujado a escala, evidenciando que en la obra se atendió prioritariamente a las cotas. El actual palacio es un cuadrado de lado medio 221,7 pies, valor más próximo a los 222 pies acotados que a los 218 dibujados. Resulta significativo que el espesor de la fachada fuera mayor que los 4,5 pies rotulados, y también dibujados, quizás porque al muro portante se añadió como



**Figura 9.-** Identificación de proporciones renacentistas en los espacios principales (denominación según el Libro de Arquitectura de Hernán Ruiz el Joven, h. 1555). Elaboración propia

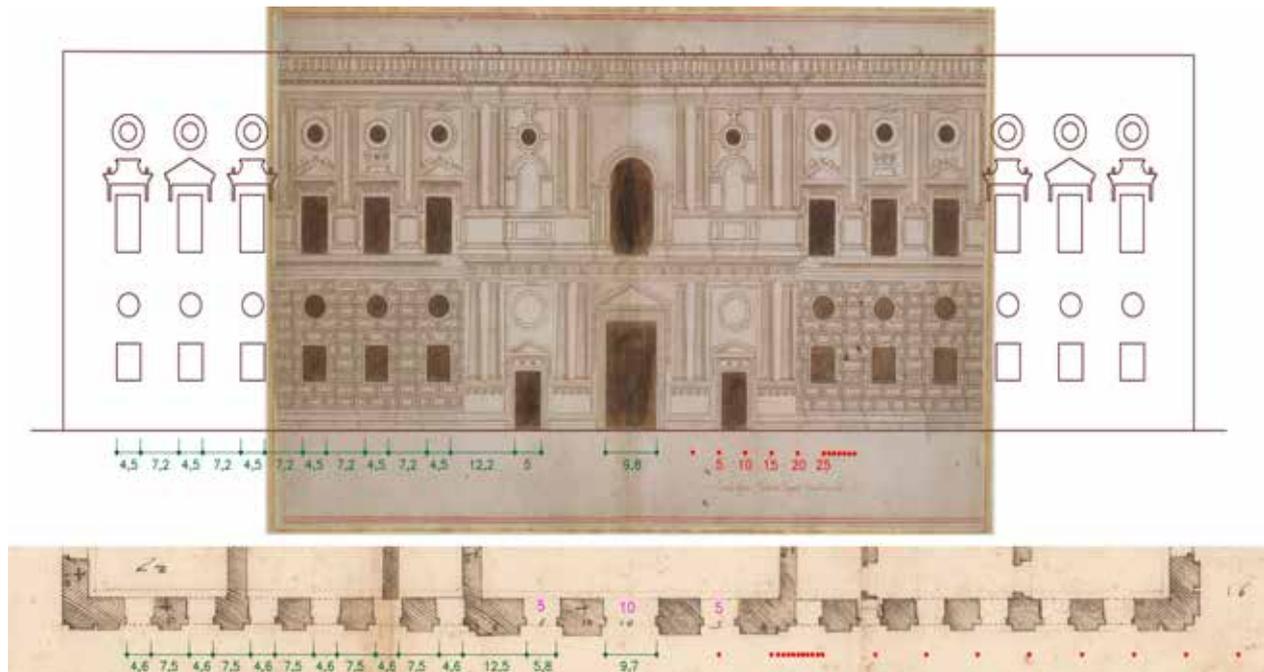
revestimiento el orden rústico apilastrado, superando el grueso previsto inicialmente. Esta solución constructiva, descrita por Rosenthal (1988: 193-95), descarta que nuestra traza fuera un levantamiento de la realidad, que lógicamente hubiera recogido el espesor construido. También el patio disminuyó su hueco libre de los 119 pies acotados a 110,4 al replantearse sus zanjas en 1540 (Rosenthal 1988: 284), una dimensión que casi corresponde con la mitad del cuadrado exterior. Con las obras de crujías perimetrales ya iniciadas, este ajuste solo afectó a la galería anular, que pasó de los 13 pies acotados a los 17,1 construidos. Así el total resultante de patio y galería quedó prácticamente inalterado, aproximadamente 151 pies. Se trata de una cuestión dimensional que se explica sencillamente a partir de la propia traza y su puesta en obra, y que destacados autores como Tafuri (1988: 104) han vinculado con las dimensiones de edificios clásicos romanos como el teatro marítimo de la villa Adriana.

### La fachada oeste y el “alzado Burlington”

El análisis abordado sobre los aspectos dimensionales de la traza facilita su comparación con el llamado “alzado Burlington” (560 x 365 mm), anónimo y sin fechar. Representa el frente occidental y también explicita una escala gráfica en pies. Según Tafuri (1988: 90) es una copia del diseño original de esta fachada. Marías (1989: 375) lo databa hacia 1537-42 considerando la cronología de las obras, aunque Rosenthal (1988: 113) lo había retrasado hasta 1574-80 por atribuírselo a Juan de Orea.

El dibujo parece haber sido recortado, dada la brusca interrupción lateral de las líneas. Por ello se ha estimado su tamaño original, completando la fachada y se ha representado a la misma escala que la traza, para su comparación [Figura 10]. Las dimensiones de macizos y huecos de la fachada son bastante coincidentes, y las tres puertas centrales se dibujaron según lo acotado en planta (5, 10 y 5 pies), unos valores cercanos al edificio construido. Ambos dibujos concuerdan también con la realidad en los arranques de la portada, tanto en los dobles pedestales, como en el solape en media pilastra con el orden rústico de la fachada. La razonable coherencia entre los dos dibujos y lo existente, sugiere que pudieron ser coetáneos, y realizados para la ejecución de las obras.

Esta concordancia evidencia también la consolidación de una idea y una formalización concreta del palacio que permitió su construcción. Cabe subrayar que se asumió el enteste de algunos muros contra los huecos de fachada, ya que la planta apenas tiene rectificaciones en sus líneas incisas. Esta autonomía interior-exterior resulta hoy extraña, acostumbrados como señaló Ortega (2001: 395) a una mayor interrelación entre ambos. Pero debe considerarse que en la primera mitad del siglo XVI en España aún existía, como herencia gótica, una relativa autonomía en el proceso de diseño de la planta y alzados del edificio, un proceder aquí evidenciado (García y Ruiz 2019).



**Figura 10.-** Correlación entre el alzado Burlington restituido y la planta de la fachada oeste, representados a la misma escala. Dimensiones en pies concordantes (verde), cotas rotuladas en la planta (magenta) y transcripción de la escala gráfica (rojo). Elaboración propia

## Conclusiones

La traza estudiada resulta imprescindible para comprender los orígenes de este singular palacio, para valorar intervenciones arquitectónicas del pasado o para su futura conservación. Debe destacarse también su valor como importante exponente de nuestro patrimonio gráfico, siendo un dibujo innovador en el contexto español de la época. Junto al uso de las formas clásicas, se evidencia el conocimiento del dibujo renacentista italiano, que mantenía claras diferencias con el de los maestros locales de nuestra península. Estamos ante uno de los dibujos más importantes del primer Renacimiento español, que aún estaba pendiente de un estudio exhaustivo en sus aspectos gráficos y técnicos.

El trazado de la planta cuadrada del palacio, analizado a través de las líneas incisas, resolvió con rigor geométrico ensayos formales previos, frecuentes en el Renacimiento italiano. Fue dibujado con gran economía gráfica, sin recurrir a complejos trazados reguladores planteados como hipótesis frecuentes en la historiografía. Se usaron pocas líneas auxiliares, la mayoría de ellas incisas, siempre relacionadas con la forma arquitectónica, coincidiendo prácticamente con lo entintado. Es un dibujo muy seguro, sin apenas tanteos y con escasas rectificaciones, que no especula sobre posibles alternativas en el diseño del palacio, ni deja zonas sin resolver como en el plano del Archivo Histórico Nacional. Destaca el dibujo detallado y preciso del patio y su galería, los muros de fachada con su apilastrado, o elementos singulares como los pedestales de las portadas en fachadas, las escaleras, el vestíbulo oriental o la capilla octogonal.

Algunos trazados incisos evidencian significativas intenciones formales en el diseño del palacio. Entre ellas destacan la cuidadosa organización radial del patio y su galería, el control de la composición de su muro perimetral, o el esvía de las puertas del vestíbulo principal para facilitar la conexión visual con el patio. Aunque ciertos trazados incisos quedaron inacabados, dejando sin resolver la articulación del edificio con las preexistencias islámicas, el dibujante apenas manifestó dudas sobre sus dimensiones y proporciones.

Según todo lo expuesto parece que el objeto prioritario de la traza era la definición formal y dimensional del palacio para su inminente ejecución, ya que mantiene gran concordancia con lo construido. La precisión, correcta resolución geométrica y acotado la hacían idónea para su construcción. Es más que una simple puesta en limpio de diseños anteriores, puede considerarse el primer plano de obra del palacio que se ha conservado, al que precedieron en los aspectos de diseño las otras dos plantas conocidas. Se realizaría necesariamente antes del inicio de la fachada en 1536, dado que el espesor finalmente construido discrepó de lo acotado. Para entonces la cimentación estaría muy avanzada, tras confirmarse el solar y empezarse sus zanjas en 1532. Sólo entonces se pudo definir definitivamente el palacio. Por ello esta traza puede datarse entre 1532 y 1536. Esas fechas son coherentes con la datación más temprana admitida para el "alzado Burlington" (1537-42), dadas las coincidencias formales y dimensionales aquí detectadas.

Debe subrayarse la importancia de los aspectos dimensionales de este plano de obras, apenas estudiados hasta ahora. Se ha detectado su escala gráfica, y se han

analizado sus numerosas cotas, a las que el tracista otorgó prevalencia sobre el dibujo. Estas evidencian el interés por ciertas proporciones preestablecidas para los espacios, de naturaleza numérica, acorde a las tendencias renacentistas del momento. Tanto en ello, como en muchos otros aspectos aquí evidenciados, la traza refleja valores muy significativos del palacio de Carlos V en la Alhambra, y una novedosa manera de hacer arquitectura en el primer Renacimiento español.

## Agradecimientos

Se agradece la colaboración de la Real Biblioteca del Palacio Real, de doña Leticia Ruiz, directora de Colecciones Reales, así como de la institución Patrimonio Nacional, que posibilitaron la consulta y estudio de la traza.

## Notas

[1] Alhambra, Generalife and Albayzín, Granada [World Heritage List]. Available online: <https://whc.unesco.org/en/list/314> [consulta: 2/10/2023].

[2] Toledo, Ministerio de Cultura y Deporte, Archivo Histórico de la Nobleza, Osuna, CP, 10, D.20.

[3] Madrid, Real Biblioteca del Palacio Real, Patrimonio Nacional, ref. IX/M/242/2(1).

[4] Nueva York, Metropolitan Museum of Art, num. 1981.1213.

[5] Sevilla, Archivo Ducal de Medinaceli (Casa de Pilatos), Partido de Sevilla, legajo 9, documento 64.

[6] En la documentación del edificio se especifica la unidad cuando es otra, como la vara toledana en unas condiciones para la extracción de piedra. Granada, Archivo de la Alhambra, Año 1545, leg. 228.

[7] Una traza atribuida a Francisco de Mora (1596) avisaba que las medidas eran “conforme al número y no al pitipié”. Madrid, Real Biblioteca del Palacio Real de Madrid, Patrimonio Nacional, ref. IX/M/242/1(41).

## Referencias

AA.VV. (2001). *Las Trazas de Juan de Herrera y sus seguidores*. Santander: Fundación Marcelino Botín, Patrimonio Nacional.

CERIANI SEBREGONDI, G. (2015). “On Architectural Practice and Arithmetic Abilities in Renaissance Italy”, *Architectural Histories*, 3(1): 11, 1-15. <http://dx.doi.org/10.5334/ah.cn>

GALERA ANDREU, P. A., FROMMEL, S. (eds.). (2018). *El patio circular en la arquitectura del Renacimiento. Actas del Simposio*. Sevilla: Universidad Internacional de Andalucía.

GÁMIZ GORDO, A. (1998). *Alhambra. Imágenes de arquitectura. Aproximación gráfica a la evolución de su territorio, ciudad y formas arquitectónicas*. [Tesis doctoral]. Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/70057>

GÁMIZ GORDO, A. (2001). “Notas sobre un gran plano sin firma con la Alhambra hacia 1532”, *EGA: Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 6: 95-105. <http://hdl.handle.net/11441/25560>

GÁMIZ GORDO, A. (2008). *Alhambra. Imágenes de ciudad y paisaje (hasta 1800)*. Granada: Fundación El Legado Andalusi y Patronato de la Alhambra. <https://idus.us.es/handle/11441/25210>

GARCÍA ORTEGA, A. J., RUIZ DE LA ROSA, J. A. (2019). “Espacio, masa y ornato en la transición del Gótico al Renacimiento en España”, *EGA: Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 24 (36): 48-59. <https://doi.org/10.4995/ega.2019.11164>

GARCÍA ORTEGA, A. J., GÁMIZ GORDO, A. (2022). “El palacio de Carlos V en la Alhambra: trazados incisivos y geometría en el plano del Archivo Histórico Nacional (h. 1528-1532)”, *EGA: Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 27 (45): 38-49. <https://doi.org/10.4995/ega.2022.16234>

GENTIL BALDRICH, J. M. (1998). *Traza y modelo en el renacimiento*. Sevilla: IUCC. Universidad de Sevilla.

IBÁÑEZ FERNÁNDEZ, J. (coord.) (2019). *Trazas, muestras y modelos de tradición gótica en la Península Ibérica entre los siglos XIII y XVI*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

JIMÉNEZ MARTÍN, A. (2011). “El arquitecto tardogótico a través de sus dibujos”. En *La arquitectura tardogótica castellana entre Europa y América*, Alonso Ruiz, B. (ed.). Madrid: Sílex, 389-416.

MARÍAS FRANCO, F. (2018). “Luis Hurtado de Mendoza, II Marqués de Mondéjar, arquitecto”. En *El patio circular en la arquitectura del Renacimiento. Actas del Simposio*, Galera, P. A., Frommel, S. (eds.). Sevilla: Universidad Internacional de Andalucía, 121-150.

MUÑOZ COSME, A. (2005). *La vida y la obra de Leopoldo Torres Balbás*. Sevilla: Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico.

ORTEGA VIDAL, J. (2001). “Una muestra del dibujo de la arquitectura en la España dorada”. En *Las Trazas de Juan de Herrera y sus seguidores*, AA.VV. Santander: Fundación Marcelino Botín, Patrimonio Nacional, 337-416.

RODRÍGUEZ FRADE, J. P. (coord.) (1995). *El palacio de Carlos V: un siglo para la recuperación de un monumento*. Granada: Patronato de la Alhambra.

ROSENTHAL, E. (1988). *El palacio de Carlos Ven Granada*. Madrid: Alianza Editorial.

RUIZ, H. (h. 1555). *Libro de Arquitectura*. Madrid, Biblioteca E.T.S Arquitectura (UPM), Secc. Raros R-16. Available online: <https://N9.CI/Iwiu0> [consulta: 2/10/2023].

VÍLCHEZ VÍLCHEZ, C. (1988). *La Alhambra de Leopoldo Torres Balbás*. Obras de restauración y conservación. 1923-1936). Granada: Ed. Comares

TAFURI, M. (1988). "El palacio de Carlos V en Granada: arquitectura "a lo romano" e iconografía imperial". *Cuadernos de la Alhambra*, 24: 77-108.

#### Autor/es



**Antonio Jesús García Ortega**  
[agarcia11@us.es](mailto:agarcia11@us.es)  
Escuela Técnica Superior de Arquitectura.  
Universidad Sevilla  
<https://orcid.org/0000-0001-5907-5283>

Doctor arquitecto y Profesor Titular del Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica de la Universidad de Sevilla. Estudia la relación entre arquitectura y dibujo entre los siglos XIII y XIX, tanto en el ámbito del proyecto y control formal como en el de representación de la arquitectura y la ciudad. Cuenta con numerosos trabajos sobre trazas y planos urbanos históricos, con especial interés por el Gótico y la transición al Renacimiento en España.



**Antonio Gámiz Gordo**  
[antoniogg@us.es](mailto:antoniogg@us.es)  
Escuela Técnica Superior de Arquitectura.  
Universidad Sevilla  
<https://orcid.org/0000-0001-6188-3167>

Doctor Arquitecto y Profesor Titular del Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica en la Universidad de Sevilla. Desde 2015 es responsable del grupo de investigación "HUM976. Expregráfica. Lugar, Arquitectura y Dibujo". Es autor de más de un centenar de publicaciones (libros, artículos y contribuciones en congresos) sobre dibujo y análisis de la arquitectura, patrimonio, ciudad, paisaje, y sus imágenes a lo largo de la historia.

Artículo enviado 15/10/2023  
Artículo aceptado el 04/12/2023



<https://doi.org/10.37558/gec.v25i1.1258>

# Facing new challenges in the conservation of the boots of former Valencia Club de Fútbol player Gaizka Mendieta

Rosario Llamas-Pacheco

**Abstract:** The article presents the restoration process carried out on the boots of former Valencia Club de Fútbol player Gaizka Mendieta. The boots have become an object of socio-cultural relevance, as they were donated to the Club by the player. These boots are more than twenty years old and are made of kangaroo leather. The sole is made up of two layers: the first, thicker, of Phylon (ethylene-vinyl acetate), and the second, thinner and lighter, of thermoplastic polyurethane elastomer (TPU).

The condition of the sole was extremely unstable, since, due to hydrolysis, the polyurethane had degraded, generating a very accentuated film of whitish crystals. On the other hand, the rubber studs of the football boots were in an extremely high state of degradation and loss. Moreover, the whole assembly was deformed, dirty and poorly adhered. The article describes in detail the materials and techniques used in the restoration, being one of the few dedicated to this problem.

**Keywords:** football boots, restoration process, Gaizka Mendieta, TPU, Phylon

## Afrontando nuevos retos en la conservación de las botas del ex jugador del Valencia Club de Fútbol Gaizka Mendieta

**Resumen:** El artículo presenta el proceso de restauración llevado a cabo en las botas del ex jugador del Valencia Club de Fútbol Gaizka Mendieta. Las botas se han convertido en un objeto de relevancia sociocultural ya que fueron donadas al Club por el jugador. Las botas tienen más de veinte años y están fabricadas en piel de canguro. La suela está compuesta por dos capas: la primera, más gruesa, de Phylon (etilvinilacetato), y la segunda, más fina y ligera, de elastómero de poliuretano termoplástico (TPU).

El estado de la suela era extremadamente inestable, ya que, debido a la hidrólisis, el poliuretano se había degradado generando una película muy acentuada de cristales blanquecinos. Además, los tacos de goma de las botas de fútbol se encontraban en un estado de degradación y pérdida extremadamente elevado. Por otra parte, todo el conjunto estaba deformado, sucio y mal adherido. El artículo describe detalladamente los materiales y técnicas utilizados en la restauración, siendo uno de los pocos dedicados a este problema.

**Palabras clave:** botas de fútbol, proceso de restauración, Gaizka Mendieta, TPU, Phylon

## Enfrentando novos desafios na conservação das botas do antigo jogador do Valencia Club de Fútbol, Gaizka Mendieta

**Resumo:** O artigo apresenta o processo de restauro realizado nas botas do antigo jogador do Valencia Club de Fútbol, Gaizka Mendieta. As botas tornaram-se um objeto de relevância sócio-cultural, uma vez que foram doadas ao clube pelo jogador. Estas botas têm mais de vinte anos e são feitas de pele de canguro. A sola é composta por duas camadas: a primeira, mais espessa, de Phylon (etileno e acetato de vinilo), e a segunda, mais fina e mais leve, de elastómero de poliuretano termoplástico (TPU). O estado da sola era extremamente instável, uma vez que, devido à hidrólise, o poliuretano tinha-se degradado, gerando uma película de cristais esbranquiçados muito acentuada. Além disso, os pitões de borracha das botas de futebol estavam em estado extremamente avançado de degradação e perda. Todo o conjunto estava deformado, sujo e mal aderido. O artigo descreve em detalhe os materiais e técnicas utilizados no restauro, sendo um dos poucos dedicados a este problema.

**Palavras-chave:** botas de futebol, processo de restauro, Gaizka Mendieta, TPU, Phylon

## Introduction

Valencia Club de Fútbol is a Spanish first division football team. In nineteen ninety-nine they won the Spanish "Copa del Rey" championship, thanks in part to a goal scored by the player Gaizka Mendieta. The goal became hugely popular, and the player ended up giving the boots he was wearing in that match to the football club. From that moment on, the boots became a valuable object, symbolically charged and, of course, worthy of being kept, according to a wide social sector <sup>[1]</sup>.

However, as the years went by, the condition of the boots deteriorated, so the Club requested their restoration from the University Institute of Heritage Restoration of the Universitat Politècnica de València. In 2020, the restoration was undertaken, on the understanding that the object had become part of the cultural heritage of Valencian society.

This work presents the study of football boots from both a technical and material point of view. It also demonstrates the need for the exhibition and storage of new types of heritage objects, which are part of the cultural fabric and identity of the community.

For this reason, the constituent materials of the boots, their method of construction, their evolution over time and the assumption of new values as an entity are analysed. Finally, the process of intervention carried out on them is presented, as well as a concrete proposal for preventive conservation.

## Research aim

The main objective of this research is to show how an object that initially had no heritage value whatsoever has become part of the Valencian popular imagination. This object is widely known and valued as a symbolic and conceptual element (Llamas 2020). Although our entity "football boots" does not have an artistic character, it would be constituted, in the same way, by a material plane (the one that degrades); a biographical plane (the one that studies its evolution over time); and the imaginary plane (the one that gathers the affections that the community has contributed to it until it configures its current essence as a valuable object).

The study is intended to serve as a guide for conservators of this type of heritage objects, on which there is little scientific literature. Therefore, an analysis of the three mentioned levels is presented. The sum of these three areas constitutes the consistency of our object, which must be known before applying any decision-making model. What is important about the article is that it provides a novel study describing the manufacturing processes; the materials used; the degradation mechanisms and the restoration processes carried out.

## State of the art

The object analysed is made up of various types of materials, both of natural and synthetic origin. The behaviour of these materials as a whole has not been studied before, so it is necessary to analyse each of them separately and then specify what their degradation process has been. It is also necessary to see how this has affected the surrounding materials.

Thus, the article describes how certain football boots have been restored after having acquired a series of cultural values.

On the other hand, the materials that showed the greatest deterioration were the leather of the upper, the polyurethane of the sole and the rubber of the studs. There are many studies that can be found on the restoration of leather in artistic objects, but in general, these are objects in which the leather is highly degraded by the passage of time. In our specific case, kangaroo leather was used for the boots, which is one of the best performing leathers for this use, but even so, it was already showing a certain amount of drying and deformation.

Leather in good condition exchanges water with the environment in which it is found, according to variations in relative humidity. This mechanical behaviour is specific, natural and has no conservation implications. However, the degradation of leather leads to the denaturation of collagen. This phenomenon is not visible to the naked eye. In this sense, water is the main agent of deterioration of the fibrillar structures of leather.

Regarding the behaviour of degraded leather, it should be noted that, "leather objects with different degrees of deterioration have different hydrodynamic properties in relation to their degree of deterioration, establishing a specific desorption curve". Thus, leather will react to changes in humidity in such a way that: the greater its initial degradation, the greater the deformation it will undergo (González 2005: 80-87). In the case of Gaizka Mendieta's boots, the leather, being in good condition, continues to behave well to changes in humidity.

In addition, leather loses elasticity and becomes deformed over time. As to how to solve this problem, Vergara (2002) recommends the use of lubricants to soften the leather, when it is necessary to eliminate deformations and discourages the use of aqueous solutions for this purpose. Aqueous solutions can produce stains, contractions, and physical changes in leather objects.

On the other hand, as regards the final protections of leather, Vergara (2002) advises the use of microcrystalline waxes.

This is not an article that focuses solely on the degradation of polyurethane. Polyurethane is only one of the materials presents. However, knowledge of the behaviour of this material is necessary to understand the state of conservation of the boots.

The behaviour of foamed polyurethane has been referenced in several scientific investigations (Pellezi et al. 2014:255-261; Lattuati et al. 2011: 4498-4508). Where, after different natural and artificial ageing tests, it has been found that polyurethane degradation occurs by scission and cross-linking of the polymer chain, both for the polyurethane ester family and for the polyurethane ether family. According to the study by Pellezzi et al. (2014: 255-261), the degradation of polyurethane esters coincides with the previous literature, having determined that, in a humid atmosphere, and by ATR-FTIR, hydrolysis of the polyol fraction of the polyurethane is detected.

Lovett and Eastop (2004:100-104), for their part, aged several polyethylene samples at varying amounts of oxygen and different RH, showing that RH affected more than oxidation in the case of PUR (ES). In this regard, they made some important recommendations regarding preservation. Thus, it is necessary to identify at an early stage the type of plastic of our objects; the degradation of PUR is inevitable even in good conditions; it is necessary to properly document our objects; each family of polyurethane degrades by different ways; it is advisable to keep the RH low to slow down hydrolysis as long as other materials are not affected; it is necessary to store PUR in isolation as it emits acid compounds; it is not advisable to store in closed boxes; it is advisable to adapt and cushion the supports so as not to produce stresses on the objects...

Lattuati et al. (2011: 4498-4508) also confirm hydrolysis as the degradation mechanism of PUR (ES) and note that the main compounds produced during degradation after natural or artificial ageing were alcohol and some acidic raw materials. The presence of these compounds would be indicative of degradation.

On the other hand, Brydson (1999), explains the ageing of vulcanised rubbers, which is produced by autocatalytic radical processes (breaking of bonds and chain scission), favoured by high temperatures. During these processes, sulphur oxides are emitted.

In addition, exposure of rubber to light causes a rapid degradation of its surface resistance. "This is thought to be due to the formation of sulphuric acid through the oxidation of the rubber-sulphur complex". The sulphuric acid transpires, forming droplets on the surface of the polymer, and eventually a stage is reached where the droplets coalesce to form a continuous conductive film.

### **Materials and Methods. General description of the constituent materials of the boots and their method of manufacture.**

#### *— Materials used in the boots*

The restoration work began with the organoleptic study of the different materials. The initial analysis of the boots was carried out using macro-photography with visible

and ultraviolet light. Samples of the different materials were also observed, as well as the different surfaces of the object. A digital video microscope MOD. AM4113 T-FVW of CTS was used. The samples were also analysed using a Leica S8 APO stereo microscope with a Leica DFC camera.

To better understand how a football boot is made, we will start by briefly describing the parts that are usually present.

In relation to the materials, when we talk about the cutting material, we are referring to the material mainly used to make the boot. In general terms, in the upper rear part of the boots, we find the reinforcement or buttress; in the lower rear part, we find the heel buttress; in the upper (upper part of the shoe) we find the laces, and under it, we find the tongue; finally, the midsole, the sole and the studs [Figure 1] are found in the lower part of the shoe.

Kelme® is the brand that produced our boots, and has specified the materials used in this particular model (García 2007). Therefore, we can describe the materials used and the technology employed in the manufacture of the boots. Kelme® is a sports footwear brand based in the city of Elche (Spain) <sup>[2]</sup>. Our boots have been identified as the "milenia" model from 1999; therefore, they are twenty-four years old at this point.

As for the materials used in its production, we will begin by describing the one used as the cutting material, which in our case is kangaroo leather (Olaso et. al 2016). This type of leather is one of the most resistant leathers available. Kangaroo leather can be laminated in thin layers that maintain a high tensile strength, above other types of leather. Kangaroo leather is remarkably light and, at the same time, extraordinarily strong, due to its anatomical structure. The fibre bundles are evenly oriented and parallel to the surface. Moreover, it contains no sweat glands and the elastin, the protein that gives it its elasticity, is evenly distributed throughout the thickness of the skin. All these properties result in its excellent performance.

On the other hand, the insoles of the boots are made with a fabric called Cambrelle® Lining (García 2007), also currently supplied by various manufacturers for the manufacture of different types of footwear. This lining, which may have different weights, is a non-woven fabric made of 100% polyamide, whose main characteristics are its high absorption and easy drying and its high resistance to abrasion.

The boots are also equipped with Flexotex (García 2007), a brand created in 1989. These insoles are designed to allow greater forefoot flexion.

Furthermore, the boots have a synthetic midsole, made of a material called Phylon (Sărăndan et. al. 2020; Promjun and Sahachaisaeree 2021). This material is, nowadays, one of the most used in the production of sports footwear and has the objective of absorbing vertical impacts. Phylon is obtained from the compression, in a mould, and at elevated

temperatures, of beads of EVA (ethylene vinyl acetate), a thermoplastic polymer made up of repeated units of ethylene and vinyl acetate. This process is repeated twice, resulting, after cooling, in a material that is even lighter than EVA. This lightness can reduce the weight of the shoes largely, which is why it is a very desirable material for sports footwear manufacturers.

Our sole is made of PU (polyurethane) (Rolaniec 2005). Polyurethanes used in footwear production are non-porous, rigid (as is the case) and have a high density. Polyurethane is a polymer obtained from hydroxylated bases combined with diisocyanates. Thermoplastic polyurethanes are those that flow with heat (Oosten et al. 2011) and are used in the manufacture of shoe soles (McPoil 2000). TPU (thermoplastic polyurethane elastomer), which is used in soles for its

mechanical properties, can be soft and flexible or very hard, as in the case of our boots [Figure 2].

Two types of studs, aluminium and rubber reinforce the underside of the sole. The aluminium studs are screwed directly to the sole, while the rubber studs have been bonded into small cavities that have the exact shape of each of the studs.

Rubber is the generic name given to vulcanised natural rubber. The vulcanisation process involves heating natural rubber in the presence of sulphur, so that it becomes harder and more resistant (Brydson 1999). Vulcanisation, obtained in 1839, includes cross-linking processes, whereby parallel polymer chains are joined together by sulphur (Shashoua 2008). Cross-linking strengthens the rubber, changes its physical properties, and turns the polymer into a large molecule.



Figure 1.- Parts of Gaizka Mendieta's boots

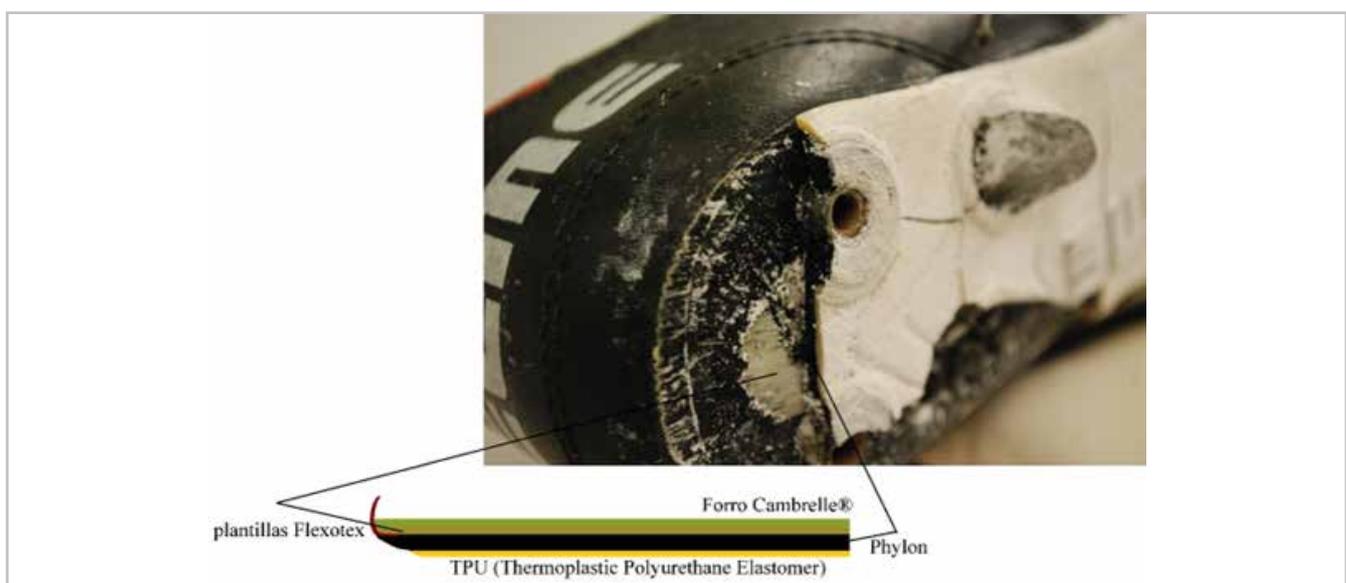


Figure 2.- Materials that make up the sole and midsole of boots.

### — *Boot manufacturing method*

Once we have explained the materials we found, we will go on to explain the production process.

As for the design, the boots are made of black leather, but the flap turns red on the outside and is embroidered with the Kelme® shoe brand and the surname of the footballer Mendieta. The letter “K” has been placed on the reinforcement and the Kelme® brand name on the heel counter. In addition, the sides of the boots are reinforced with a piece of white leather in the shape of a “K” adapted to the lateral space.

In general, the boots are built on an inner sole. The leather rotates and adheres externally to this rigid sole thanks to a layer of glue.

Overall, customised boots, as is the case here, are produced on the last of the foot of the footballer in question. The first step in the manufacturing process would be the cutting of the leather,

then all the parts that make up the shell (upper part of the boot) are sewn together, and the back of the boot is placed on a last at elevated temperature. By placing the back of the boot on the hot last and then applying cold, the leather hardens strongly and begins to shape the shoe. The excess leather is then folded over and sanded to adhere it to the bottom of the boot (midsole) (Promjun and Sahachaisaeree 2021; Motawi 2021; Olaso 2015).

### Degradation processes

We will start by describing the situation of the object as a whole. In this respect, both boots were in an extremely unstable state. In general, the common pathologies that affect many cultural objects were observed: generalised deformation, surface dirt, changes in the appearance of the skin... Although, obviously, the action of the usual agents of deterioration (light, humidity, temperature) had acted in a specific way on each of the materials that make up the ensemble [Figure 3].



**Figure 3.-** General photographs of the boots, in visible light, before starting the intervention. Photograph: own authorship.

As for the kangaroo skin, it was in a good condition, not cracked, although it was somewhat dry and dirty. In the refining process, after the skins have been tanned, pigments and oils are usually added to the skins. With the passage of time, the effect of these oils diminishes, producing, as in this case, a certain dullness due to dryness. On the other hand, the surface dirt consisted of adhering greasy dust and large white particles on the surface from the sole.

The polyester laces that make up the laces were in good condition, but also showed surface dirt. [Figure 4]

In addition, both boots were found to contain newspaper balls inserted to maintain their original shape. Also, found inside were several aluminium studs that had become detached and had been stored. On the inside, the lining and the insoles were dirty, but in good condition.

However, the lower part of the boots showed an advanced state of degradation. In fact, the boots had to

be transported on a polypropylene tray because they could not stand upright and parts of the sole, midsole and studs were coming off.

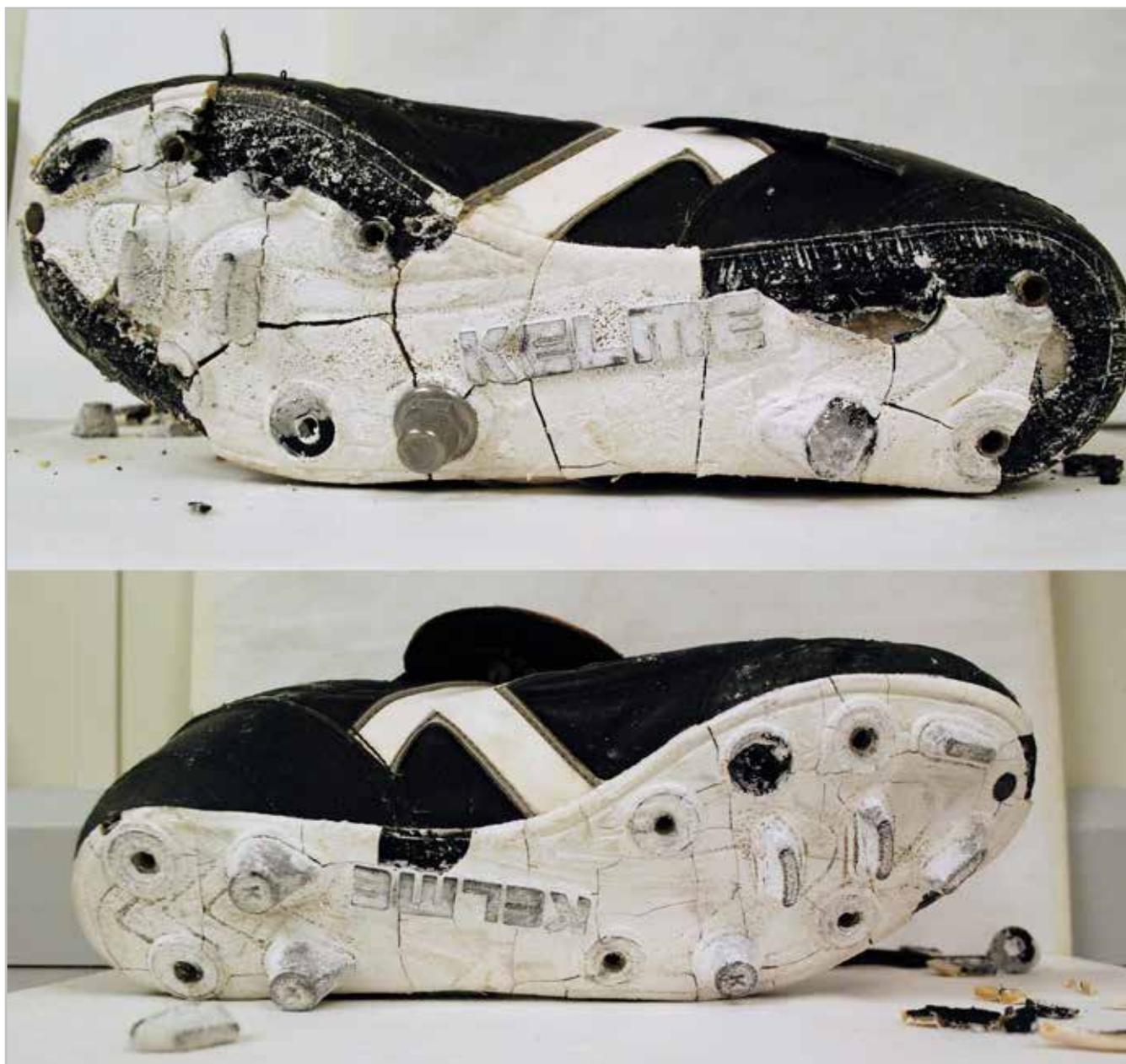
Regarding the Phylon midsole, it should be noted that, after so many years, its consistency was good, with no cohesion failure at any point [Figure 5]. However, the main problem of the right boot, in relation to adhesion, was the adhesive failure between the Phylon and the leftover leather of the shell. In fact, serious detachments had occurred, leaving this leather exposed.

In part, this process is also due to the mechanical force exerted by the TPU, which is becoming less flexible, on the sole as a whole. Due to the increased stiffness, the outer TPU layer cracked and the Phylon cracked, leading to adhesive failure and material loss.

The result was the detachment of large areas of the sole, a generalized loss of adhesion of the Phylon to the insoles and, in short, a considerable risk of loss in the event of any movement.



**Figure 4.-** Macro and microphotographs with visible light. Microscopic detail of the kangaroo leather, of the area of the footballer's name, at the turn of the tongue, and of the general condition of the laces. Before the intervention. Photograph: own authorship



**Figure 5.-** Photographs of the soles of the boots before starting the intervention. Visible light. The whitish appearance produced by the particles of the thermoplastic polyurethane degradation product or by plasticiser migration can be seen. Also visible are the large areas where the sole has been lost due to widespread adhesive failure. Photograph: own authorship.

To summarize: the adhesion between the TPU (light-colored and thin layer) and the Phylon (black and thick layer) is perfect, while the adhesive failure occurred between the Phylon and the base of the insoles, which are partially covered with leather.

On the other hand, and looking at the boots as a whole, it should be added that several of the studs, both metallic and rubber, were missing.

Finally, it is worth mentioning the abundant presence of whitish agglomerations that had spread all over the surface of the sole, which could be plasticiser migration or chemical deterioration product. Thus, we are faced

with a case of crystalline blooming (Krieg et.al 2022). These whitish crystals could be either adipic acid or also an adipate. It is not possible to say for sure since infrared spectroscopy was not performed. Adipic acid is a reagent in polyurethane chemistry, so it would not be an additive. However, if they were adipates, the presence of these crystals on the surface could be due to the loss of plasticizer. [Figure 6].

Adipic acid is produced from a mixture of cyclohexanone and cyclohexanol called KA oil. KA oil is oxidised with nitric acid to give adipic acid, with the resulting environmental problem. Most of this acid is used to produce nylon and for the production of polyurethane (Yumei L. et al. 2024)

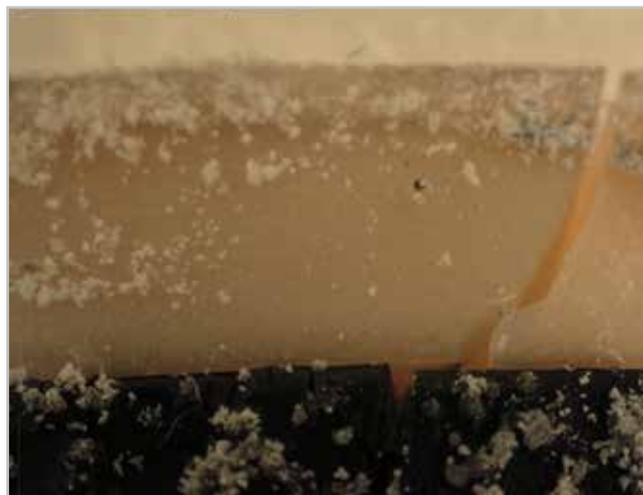


**Figure 6.-** Photograph of the right boot and microphotography of the area of the embroidery with ultraviolet light before the intervention process. In the image above, we can see the deposited surface dirt and the crystals scattered all over the surface. The image below shows a detail of the embroidered area of the footballer's name. Photograph: own authorship.

For their part PU undergoes significant physical degradation due to hydrolysis. In general, this chemical process is a reaction between a water molecule and another macromolecule, whereby the water molecule breaks one or more chemical bonds of the macromolecule, attaching its atoms to the macromolecule. This process causes the disintegration of the material (Brydson 1999).

Polyurethanes based on polyester diols tend to be the most commonly used in the production of shoe soles and are precisely those with the lowest strength. The conditions of high relative humidity accelerate the degradation processes by hydrolysis. In addition, agents such as light, ultraviolet radiation, oxygen, temperature, solvents, etc. affect this type of materials.

When the stratigraphy of the sole is studied under the microscope, several distinct layers are observed. Firstly, the widest, black one, which corresponds to the Phylon. Next, with a perfect adhesive bond to the previous one, a first phase of polyurethane of a homogeneous yellowish color can be observed. Above this phase begins a second phase in the polyurethane layer, slightly lighter in color and less thick, where the beginning of degradation is observed [Figures 7 and 8]. Finally, on the surface, a layer of white crystals is observed, which is easily removed.



**Figure 7.-** Photomicrograph with visible light of one of the cracks through the polyurethane reaching the Phylon. Photograph: own authorship.



**Figure 8.-** At the top: micrograph of crystals. The lower part shows a stratigraphy of a clean sole area. For this reason, no whitish residue is visible. The image stands out because it shows the perfect adhesive bond between the polyurethane and the Phylon. With number one, a thinner, lighter layer is also visible where the degradation of the polyurethane begins. Next, with number two, a darker layer of polyurethane in a better state of conservation, and with number three, the Phylon in perfect condition. Photograph: own authorship.

Constituent materials	Degradation processes	Pathologies present in the boots
Cutting material: kangaroo leather	Loss of effect of oils used in production process	Matt and dryness. Stiffness, surface dirt, greasy pink stains, whitish deposits.
String (polyester)	In good condition	Deformation and surface dirt
Aluminium studs	In good condition	Surface soiling. Loss of most of the studs
Vulcanised natural rubber studs	Ageing due to autocatalytic processes of radical type (breaking of bonds and chain scission), favoured by elevated temperatures. Emission of sulphur oxides.	Largest brittleness, breakage with handling. Occasional loss of several studs.
Cambre <sup>®</sup> lining, 100% polyamide fabric	In good condition	Surface dirt. De-adhesion in some areas
Flexotex <sup>®</sup> midsole	In good condition	Adhesive failure with the Phylon midsole.
Phylon midsole (ethylene-vinyl acetate)	Material in good condition	Adhesive failure with the leather adhered on the back of the insole and with the Flexotex insole itself. Cracs.
TPU outsole (Thermoplastic Polyurethane Elastomer)	Degradation by hydrolysis	Deep cracks that reach the insole. Stiffness, yellowing. Presence of a uniform layer of white crystals on surface (plasticiser migration or chemical deterioration product)
General condition	In general, the object could not be handled manually due to the risk of losing the rubber studs and part of the sole. There was widespread deformation and great instability. There were noticeable whitish sole deposits on all surfaces of the boots. There had been loss of the studs. Parts of the sole had been lost. Many fragments were already detached	

**Table 1.-** Summary of the degradation processes suffered by the materials and alterations found.

## Results and discussion. Restoration treatments

### — Boot carcass treatment

The intervention process was conducted in the laboratories of the University Institute of Heritage Restoration of the Polytechnic University of Valencia. First, we began by removing, by mechanical means and controlled suction, the solid deposits from the surface, both whitish crystals and solid particles of surface dirt.

The boots were then unlaced so that the leather could be cleaned. This cleaning was conducted with Velvesil PlusTM, a product manufactured by Momentive [3] which has been classified as non-hazardous to health and the environment. It is a product in gel form, colourless, with a relative density of 0.959 g/cm<sup>3</sup>, soluble in aromatic substances and highly stable [Figure. 9].



**Figure 9.-** Detail photograph with visible light during the cleaning process of the kangaroo skin with Velvesil PlusTM. Photograph: own authorship

Specifically, it is a gel based on a cross-linked siloxane containing a silicone solvent, cyclomethicone D5. Velvessil Plus™ gel is used to clean water-sensitive works, localising the cleaning effect only on the surface. It must be removed dry and then the removal of the gel is completed with the solvent cyclomethicone D5 (Decamethylcyclopentasiloxane) [4] [5]. [6].

In the case of the boots, the procedure described above was followed.

The cords were cleaned by immersion in an aqueous solution composed of distilled and deionised water and Teepol® at a concentration of 0.3%, a neutral detergent based on a mixture of sodium lauryl ether sulphate and dodecylbenzene sulphonic acid. The soap was then rinsed off by several baths in distilled and deionised water. Finally, the cords were ironed to restore the first shape.

In turn, to recover the shape of the boot, and after the cleaning process of the leather, which gave it some elasticity, the boot was ironed at a low temperature, which eliminated many of the deformations present.

In addition, the aluminium studs that were found inside the boot were screwed back on and the lacing was re-done, just as it was at the start of the intervention.

As a protective coating, a light layer of microcrystalline wax was applied to the leather, using a cotton swab. This wax is a product consisting of a mixture of saturated hydrocarbons with linear and branched chains obtained from petroleum refining. It is a very resistant and flexible wax and does not yellow due to its chemical inertness. Moreover, due to its high melting point (76-80°C) it does not soften at room temperature, so it does not absorb surface dirt. [7].

#### — Treatment of the sole

The entire sole was covered with a whitish powdery coating that flaked off to the touch. This pathology was very intense and widespread, giving the sole a lighter shade than the real one (Oosten 2022). Removal of this white layer revealed yellowing of the TPU.

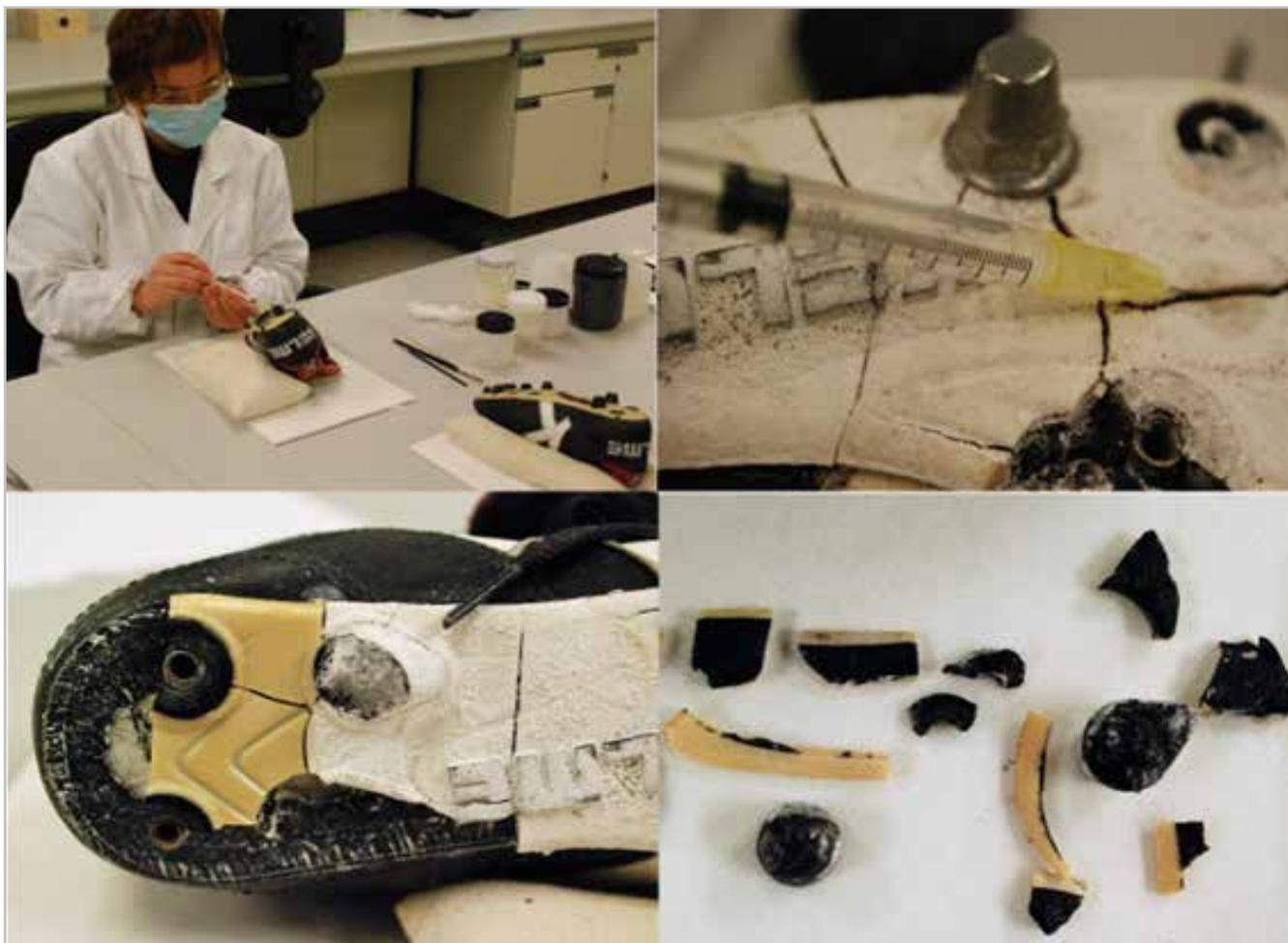
The cleaning process started with a vacuuming of the loose particles of the TPU deterioration product or plasticiser migration, carried out with the help of a soft brush. However, at some points the suction could have dislodged some of the sole plates that were poorly adhered to the insole, so it was necessary to re-bond them using Beva O.F. D-8-S diluted in distilled and deionized water in a ratio (60:40). Beva O.F.® D-8-S consists mainly of ethylene vinyl acetate (EVA). This is the same material as Phylon, which had to adhere to the stencil [Figure 8]. It is this affinity that determined the selection of this film-forming substance.

Once the stability and good adherence of the whole sole has been checked, we continue with a deeper mechanical cleaning. This was again carried out with a brush and gentle suction. This process was not sufficient to completely remove the whitish layer, so we continued the cleaning with the same method that had been used to clean the leather of the carcass (Velvessil Plus™) (Cremonesi 2016). This method acts only on the surface and does not provide moisture that could have accentuated the degradation of the polyurethane. We consider this aspect particularly important, as the application of moisture is especially discouraged in this case.

On the other hand, the rubber studs that had become detached were consolidated, i.e., impregnated in their

Adhesive	Compound	Solubility	Concentration	Effective
Acryl Me	Microemulsion acrylic copolymer (30 nm particles) Recommended for consolidations	Aqueous	10% in H2O dt	No
			40% in H2O dt	No
Elvacite 2044	Particularly elastic consolidant. Acrylic resin based on POLI(MMA/nBMA)	Acetone, methyl ethyl ketone, diacetone alcohol	8%	Yes
			40%	Yes
Aquazol	Poly(2-ethoxy-2-oxazoline)	Aqueous Polar solvents	2.5 %	No
			30%	No
Polyvinyl Alcohol	Polyvinyl alcohol	Aqueous	3%	No
			6%	No

**Table 2.**- Summary table of the tests conducted with distinct types of synthetic resins for the consolidation and adhesion of the studs.



**Figure 10.-** During the process of adhesion and consolidation of the detached fragments. Photograph: Salvador Muñoz and Rosario Llamas.

thickness with a film-forming substance that gave them back their consistency, in this case Elvacite 2044, a polymer based on methyl methacrylate and n-butyl methacrylate, was used. Also, the parts that had become detached from the soles were adhered with this acrylic resin, at a higher concentration [Figure 10]. Before selecting this adhesive, several tests were conducted, checking manually, after drying, the compressive strength of the rubber plugs in the case of consolidation and the tensile strength in the case of adhesion of the parts.

### Preventive conservation

Degraded plastics are extremely fragile. In this regard, some recommendations for handling can be given. Suitable trays should be used for transport. In addition, they should be placed on rigid surfaces cushioned with inert materials, avoiding vibrations. The boots should not be in contact with solvents or cleaners. Surface cleaning treatments should always be carried out by a restorer (preferably by suction or with a soft, dry cloth). On the other hand, handling should be done with nitrile gloves.



**Figure 11.-** Photographs with visible light of the soles after the intervention process. Photograph: own authorship.



**Figure 12.-** General photographs of the boots after the intervention process. Visible light. Photograph: own authorship.

It can produce sulphur oxides during the degradation process and is therefore considered a hazardous plastic. For this reason, it should not be stored together with other types of plastics.

The most common are sulfur dioxide and nitrogen dioxide, as well as organic and inorganic acids such as acetic, formic, nitric, nitrous, hydrochloric, sulfuric, etc. The possibility of these contaminants accumulating when the objects are in open spaces is not a cause for concern. However, when stored in airtight containers, the action of these volatile compounds can be detrimental. Moreover, rising temperatures increase the rate and speed of these emissions.

In our case, polyurethane, even in museum conditions, is an emitter of polluting volatile compounds. To slow down this process, the boots should be stored and exposed (given the impossibility of differentiating between storage and exposure conditions in this case) at a temperature between 17-20°C and a RH between 45-50%.

A-D strips (Liébana 2021) can be used to check for the presence of volatile compounds inside the display case

or container. If so, zeolites or activated carbon should be considered to retain these contaminants.

On the other hand, an increase in ambient RH causes an increase in the humidity present in synthetic plastics. For this reason, they swell and become more flexible, but chemical degradation by hydrolysis is facilitated. Thus, a low RH is preferable, which is not common in the city of Valencia. Lovett and Eastop (2004) aged several polyurethane samples at different oxygen and relative humidity conditions, demonstrating that PUR(ES) degrades primarily by hydrolysis and should therefore be stored at low RH.

Finally, as in the case of most cultural goods, when they are exposed, low intensity lighting should be used, not exceeding 50 lux and filtering ultraviolet radiation. In addition, it is preferable to store the boots in the dark. This should be managed by the museum.

### Conclusions

What makes an object valuable and what determines that it should be preserved? The boots that are the object of this restoration arrive at the Restoration Institute of the Universitat Politècnica de València because they had already acquired socio-cultural values and affectivities that made them worthy of being conserved. The values complete the consistency, form part of the biographical plane of the object and determine its identity.

In this case, the intervention consisted of restoring their stability, studying their mode of manufacture and the materials used in their production. Once restored, the boots have largely recovered their original appearance. The leather is clean, supple and protected [Figures 11 and 12]. Likewise, the adherence of the sole to the insole has been reinforced and all the detached fragments have been glued. At times, this process has led to a significant recovery of the sole, as these fragments have been put back together as if they were a puzzle.

The passage of time has left its mark on the object (deformation, surface dirt...) But the phenomenon of hydrolysis is the cause of the poor condition of the outer layer of the sole, which is made of polyurethane. In any case, the rigidity of the polyurethane, acquired over time, has led to the appearance of serious cracks and subsequent detachments.

Also important is the poor condition of the vulcanized rubber that makes up the rubber studs, which disintegrated to the touch.

Finally, it is concluded that proper preventive maintenance can slow down the degradation of the boot as a whole, but the TPU, even with it, will continue to degrade.

## Notes

- [1] Valencia Club de Fútbol. Página oficial: <https://www.valenciacf.com/es/article/es-records-blanquinegres-las-botas-del-gol-de-la-copa-2021-03-06>
- [2] Ver página oficial Kelme®, <https://kelme.com/es/>
- [3] Momentive: Geles de Silicona. <https://www.momentive.com/es-mx/brands/velvesil>
- [4] CTS. "Velvesil Plus. Descripción del producto". <https://www.ctseurope.com/es/scheda-prodotto.php?id=4001>
- [5] Kremer. Ficha Técnica Ciclomética D5. [https://www.kremer-pigmente.com/elements/resources/products/files/87081\\_SDS.pdf](https://www.kremer-pigmente.com/elements/resources/products/files/87081_SDS.pdf)
- [6] CTS. "Nuevos Productos – Ciclométicas: ¿De qué estamos hablando?" <https://shop-espana.ctseurope.com/1129-2-nuevos-productos-ciclometicas-de-que-estamos-hablando>
- [7] CTS. Cera Microcristalina. Ficha Técnica. <https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichastecnicasweb/2018/2.2protectores2016/ceramicristalinac80esp.pdf>

## References

- BRYDSON, J. A. (1999). *Plastics materials* (Seventh Edition) Cap. 30. Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-4132-6.50076-0>
- CREMONESI, P. (2016). (a cura di). *Proprietà ed esempi di utilizzo di materiali silicici nel restauro di manufatti artistici*. Saonara: Il Prato.
- GARCÍA, M. (2007). "Biomecánica del equipamiento deportivo. Componentes y criterios de selección para la elección de las botas (botines) de fútbol." <https://efdeportes.com/efd105/criterios-de-seleccion-para-la-eleccion-de-botas-botines-de-futbol.htm> [consulta: 26/10/2026].
- GONZÁLEZ, G. (2005). "Recientes avances en conservación de objetos de cuero", *Museos.es*, 1: 80-87. Madrid: Ministerio de Educación Cultura y Deporte. Subdirección General de Documentación y Publicaciones.
- KRIEG, T., MAZZON, C.; GÓMEZ-SÁNCHEZ, E. (2022). "Material Analysis and a Visual Guide of Degradation Phenomena in Historical Synthetic Polymers as Tools to Follow Ageing Processes in Industrial heritage Collections", *polymers* 2022,14,121 <https://doi.org/10.3390/polym14010121>
- LIÉBANA, S. (2021). "Los plásticos emisores de contaminantes gaseosos en las colecciones de Arte Contemporáneo. Propuesta de un protocolo para su conservación", *Ge-Conservación*, 20(1):162-172. <https://doi.org/10.37558/gec.v20i1.1061>
- LOVETT, D., EASTOP, D. (2004). "The degradation of polyester polyurethane: preliminary study of 1960s foam-laminated dresses", *Studies in Conservation*, 49 (sup2), 100-104.
- LATTUATI, A, THAO-HEU, S., LAVÉDRINE, B. (2011). "Assessment of the degradation of polyurethane foams after artificial and natural ageing by using pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry and headspace-solid phase microextraction-gas chromatography/mass spectrometry", *Journal of Chromatography A*, 1218(28), 4498-4508. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.05.013>
- LLAMAS, R. (2020). "Some theory for the Conservation of Contemporary Art", *Studies in Conservation* 65:8, 487-498, DOI: <https://doi.org/10.1080/00393630.2020.1733790>
- MCPOIL, T. G. (2000). "Athletic footwear: design, performance and selection issues", *Journal of Science and Medicine in sport*. 3(3) 260-267. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(00\)80035-3](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(00)80035-3)
- MOTAWI, W. (2021). *Cómo se hacen los zapatos*, 1, Ed. Wade's Place.
- OLASO, J. (2015). *Innovación y botas de fútbol*, Ed. José Olaso, Gandía, Create Space Independent publishing Platform, Nº1 Edition.
- OLASO, J.C., PRIEGO, J.I., LUCAS-CUEVAS, A.G., GONZÁLEZ, J.C., PUIGCERVER, S. (2016). "Soccer players' fitting perception of different upper boot materials", *Applied Ergonomics*, 55: 27-32, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.01.005>
- OOSTEN, T., LORNE, A., BÉRINGER, O. (2011). *PUR Facts. Conservation of Polyurethane Foam in Art and Design*, Amsterdam University Press.
- OOSTEN, T. (2022). *Properties of Plastics: A guide for conservators*, Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.
- PELLEZZI, J.E., LATTUATI, A, LAVÉDRINE, B., CHERADAME, H. (2014). "Degradation of Polyurethane ester foam artefacts: chemical properties, mechanical properties and comparison between accelerated and natural degradation" *Polymer Degradation and Stability*, 107: 255-261.
- PROMJUN, S., SAHACHAISAREE, N. (2012). "Factors Determining Athletic Footwear Design: A Case of Product Appearance and Functionality", *Procedia - Social and Behavioural Sciences*, 36: 520-528, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.057>
- ROSLANIEC, Z. (2005). "Polyester Thermoplastic Elastomers: Synthesis, Properties, and Some Applications", en *Handbook of Condensation Thermoplastic Elastomers*, Ed. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Chapter 3, 75-116. <https://doi.org/10.1002/3527606610.ch3>
- SHASHOUA, Y. (2008) *Conservation of Plastic: Materials, science, degradation and preservation*. London: Routledge.

SHASHOUA, Y. (2014). "A Save Place. Storage Strategies for Plastics, Conservation of Plastics", The Getty Conservation Institute [https://www.getty.edu/conservation/publications\\_resources/newsletters/pdf/v29n1.pdf](https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/newsletters/pdf/v29n1.pdf). [consulta: 26/10/2023]

SĂRĂNDAN, S., NEGRU, R., MARȘAVINA, L., ȘERBAN, D.-A. (2021). "Cellular materials used in athletic footwear applications: Experimental, analytical and numerical investigations", *Materials Today: Proceedings*, 45, 5, 4310-4314, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.796>.

VERGARA, J. (2002). *Conservación y Restauración de material cultural en archivos y bibliotecas*, Valencia: Biblioteca Valenciana.

YUMEI, L., DESHUAI, Y., GUIXIANG, Z., RUIRUI, W., RUIRUI, Z., MIN, J., RUIXIA, L. (2024). "Highly efficient one-pot aerobic oxidation of cyclohexane to adipic acid using task-specific metal-based ionic liquid", *Chemical Engineering Science*, 283, <https://doi.org/10.1016/j.ces.2023.119373>

Artículo enviado 13/02/2023  
Artículo aceptado el 19/02/2024



<https://doi.org/10.37558/gec.v25i1.1186>

#### Author/s



**Rosario Llamas-Pacheco**

[rllamas@crbc.upv.es](mailto:rllamas@crbc.upv.es)

Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Universitat Politècnica de València

<https://orcid.org/0000-0002-1238-1555>

La Prof. Dra. Rosario Llamas Pacheco es Catedrática en el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universitat Politècnica de València. Es miembro del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio, del cual ha sido subdirectora. Ha impartido clase en varias universidades. Ha sido directora tanto del Máster Oficial, como del Programa de Doctorado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universitat Politècnica de València. 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.

## Del agave a la arquitectura en tierra. Aprovechamiento de fibras naturales de los desechos de la agroindustria en la fabricación del adobe biocompósito

Mauricio Ruiz Serrano, Héctor Serrano Barquín, Andrés Ruiz Serrano

**Resumen:** El adobe es resistente a cambios súbitos de temperatura y al fuego, actuando como una eficaz barrera térmica y acústica en la construcción de viviendas. Este artículo investiga las propiedades térmicas, de resistencia, compresión, plasticidad y absorción del adobe biocompósito, proponiendo que la combinación de adobe con bagazo de agave mejora significativamente su eficiencia en comparación con los bloques compuestos de zacate, fibra de agave y tierra. El estudio se realizó en una zona productora de mezcal y adobe tradicional en el Estado de México, en línea con los principios de la economía circular. Los resultados indican que el adobe enriquecido con bagazo de agave presenta varias mejoras en sus propiedades físicas y mecánicas, lo que reduce su impacto ambiental. Esta investigación resalta la importancia del adobe como elemento fundamental en la revaloración de la arquitectura de tierra, contribuyendo al fomento de la identidad patrimonial edificada.

**Palabras clave:** adobe biocompósito, arquitectura de tierra, edificación sustentable, bagazo de agave

### From agave to earthen architecture. Use of natural fibers from agro-industrial waste in the manufacture of biocomposite adobe

**Abstract:** Adobe is resistant to sudden temperature changes and fire, acting as an effective thermal and acoustic barrier in construction. This article investigates the thermal, resistance, compression, plasticity and absorption properties of biocomposite adobe, proposing that the combination of adobe with agave bagasse significantly improves its efficiency compared to blocks composed of zacate, agave fibers and soil. This study was conducted in a mezcal and traditional adobe producing area in the State of Mexico, in line with the principles of circular economy. Results indicate that adobe enriched with agave bagasse presents several improvements in its physical and mechanical properties, which reduces its environmental impact. This research highlights the importance of adobe as a fundamental element in the revaluation of earthen architecture, contributing to the promotion of heritage identity.

**Keywords:** biocomposite adobe, earthen architecture, sustainable building, agave bagasse

### Do agave à arquitetura em terra. Aproveitamento de fibras naturais dos resíduos da agroindústria no fabrico do adobe biocompósito

**Resumo:** O adobe é resistente a mudanças súbitas de temperatura e ao fogo, atuando como uma eficaz barreira térmica e acústica na construção de habitações. Este artigo investiga as propriedades térmicas, de resistência, compressão, plasticidade e absorção do adobe biocompósito, propondo que a combinação de adobe com bagaço de agave melhora significativamente a sua eficiência em comparação com os blocos compostos de zacate, fibra de agave e terra. O estudo foi realizado numa zona produtora de mezcal e adobe tradicional no Estado do México, em linha com os princípios da economia circular. Os resultados indicam que o adobe enriquecido com bagaço de agave apresenta várias melhorias nas suas propriedades físicas e mecânicas, o que reduz o seu impacto ambiental. Esta investigação destaca a importância do adobe como elemento fundamental na revalorização da arquitetura em terra, contribuindo para o fomento da identidade patrimonial construída.

**Palavras-chave:** adobe biocompósito, arquitetura em terra, edificação sustentável, bagaço de agave

## Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha reconocido que la vivienda es un espacio que debe brindar bienestar y confort a todo ser humano, estableciendo que todo individuo requiere de un ambiente digno, que le ayude a su crecimiento integral, emocional, físico y mental (WHO 2018). La vivienda es un espacio trascendental para el ser humano, ya que en ella realiza diversas actividades que le son de gran significado, tanto social como económico. Es por ello que la vivienda debe representar un espacio habitable, cómodo, seguro, asequible y sobre todo sustentable.

El concepto de sustentabilidad se funda en el reconocimiento de los límites y potenciales de la naturaleza, inspirando una nueva comprensión del mundo para enfrentar los desafíos de la humanidad (Alem 2003). Es así como la definición de sustentabilidad promueve una alianza entre la naturaleza y la cultura, fundando un nuevo marco teórico para la economía moderna: la economía circular. En esencia, la economía circular es un sistema económico que pretende minimizar los residuos y aprovechar al máximo los recursos. Implica repensar y rediseñar productos y procesos para mantener los materiales en su máxima utilidad y valor a lo largo de su ciclo de vida (Murray, Skene & Haynes 2017). Al reutilizar residuos en nuevos procesos de manufactura, como el bagazo de agave y al mantener su utilidad incorporándolo a un material de construcción duradero como el adobe, se asegura el desarrollo y la continuidad de una economía circular en la construcción de viviendas.

La bioconstrucción es indudablemente la solución para la edificación sustentable. De acuerdo con Pinas et al. (2020), es imprescindible considerar las técnicas bioclimáticas para proporcionar un ambiente térmico confortable en el interior de las viviendas. En su estudio, estos autores analizaron la conductividad térmica de algunos elementos que componen las viviendas, incluyendo adobe y tierra, y realizaron simulaciones de intercambio térmico entre dichos componentes. Concluyeron que el adobe mostró un desempeño térmico y mecánico favorable. En otro estudio, Salih et al. (2020) observaron que el ladrillo de adobe mejorado tiene un mejor desempeño cuando se le agrega una combinación de aditivos residuales, es decir, el uso de materiales de desecho.

La elaboración de viviendas basada en el conocimiento de la arquitectura de tierra se remonta a tiempos prehispánicos. Sin embargo, dichos saberes se fueron diluyendo a través del tiempo, y con ello, las tradiciones indígenas en la construcción. El conocimiento etnopedológico (Gama-Castro et al. 2012) y la suma de estos saberes ancestrales muestran un amplio dominio sobre el entorno ambiental, uso y manejo del suelo, clasificación y modificación de materiales de construcción. En la transformación de los materiales del suelo, el constructor indígena se basaba en la adición de un conjunto de compuestos de origen

litológico, incluso orgánico, denominados desgrasantes. A través de la manipulación y estabilización de propiedades como la plasticidad, adhesividad, compactación, porosidad y fundente, los constructores indígenas mejoraban los bloques de adobe con la incorporación de materiales orgánicos. Este proceso subraya la importancia de la arquitectura como un elemento crucial del patrimonio cultural e identitario (Gama-Castro et al. 2012). De este modo, el adobe fue incorporando diversos elementos para su mejora en la edificación.

La arquitectura de tierra, apropiada para las condiciones climatológicas de la mayoría de países en vías de desarrollo, consume menos energía en su producción comparada con el uso de cemento y otros materiales de construcción modernos. Su eficiente uso destaca su estética y refuerza la identidad cultural de las comunidades que la adoptan (José 2002). Además de contribuir a la preservación de aspectos culturales e identitarios, este tipo de arquitectura y técnica de construcción es sumamente sustentable, dada la abundancia de tierra como recurso renovable. La escasa divulgación del conocimiento empírico sobre la arquitectura de tierra ha oscurecido las ventajas del adobe en la construcción moderna, a menudo obstaculizando el desarrollo de nuevos paradigmas para resolver problemas específicos relacionados con materiales que usan el suelo y la tierra como materia prima (Gama-Castro et al. 2012).

El resurgimiento y reevaluación de la arquitectura vernácula mexicana y sus materiales de construcción ha sido notable en las últimas décadas. A diferencia de la arquitectura High Tech, la arquitectura popular gira entorno a la sustentabilidad, la estética, las propiedades térmicas y acústicas del adobe, características asociadas con la arquitectura Low Tech. Este tipo de arquitectura exalta la tradición, la identidad local, las habilidades artesanales de construcción y la continuidad histórica mediante el uso del adobe.

Si bien las fachadas que muestran el uso del adobe se identifican en muchos pueblos típicos, la mayoría lo ocultan bajo aplanados, revestimientos y pintura. Esto contrasta con la dominante arquitectura modernista del siglo XX y principios del XXI, la cual favorece materiales como el concreto, el vidrio, el aluminio y la cerámica, alejándose de los valores vernáculos. Esta tendencia eclipsó los valores identitarios locales, dando lugar a una nueva tipología formal en la arquitectura global a partir de los años cincuenta (de Anda Alanís 2006). Sin embargo, actualmente se observan edificaciones que combinan elementos nacionales e internacionales utilizando el adobe como material principal.

El creciente interés por lo vernáculo y nacional se refleja en la designación de 177 Pueblos Mágicos en México, un aumento significativo desde los 11 registrados entre 2000-2003. Esta tendencia ha impulsado el turismo, incrementando anualmente en un 8% el Valor Agregado Censal Bruto de los destinos nombrados Pueblos Mágicos.

Dicho reconocimiento de la arquitectura vernácula mexicana, en su mayoría construida con adobe, ha elevado su valor a nivel nacional e internacional (Revista Digital de la Secretaría de Turismo 2023). La aplicación del adobe en la construcción habitacional en Pueblos Mágicos y conjuntos residenciales refuerza la identidad arquitectónica patrimonial y promueve el turismo. No obstante, existen prejuicios sobre su resistencia y durabilidad en comparación con el concreto armado y otros materiales modernos, los cuales demandan altos niveles de energía en su producción. Esta investigación busca revalorizar las cualidades culturales y sustentables inherentes del adobe en la edificación como elemento identitario de nuestras comunidades y poblaciones (Castillo Levico y Pérez Lira 2020).

Es importante destacar que el adobe es un material reciclable por naturaleza, es decir, cuando las viviendas son abandonadas, su material se convierte nuevamente en tierra, se reintegra al ecosistema o, si dichas estructuras están parcialmente dañadas pueden ser restauradas con facilidad. Debido a que el adobe ha sido un componente esencial en la evolución de la vivienda humana, desde sus formas más primitivas hasta la actualidad, siendo una opción sustentable y a escala humana (Domínguez Vega 2010), esta investigación busca contribuir a la legitimación de la arquitectura de tierra.

Además de sus múltiples beneficios, el adobe tiene un papel crucial en la preservación del patrimonio arquitectónico. El empleo de la tierra en la restauración y mantenimiento de viviendas se alinea con la tendencia contemporánea hacia la conservación sustentable de bienes patrimoniales y culturales, lo cual implica el uso de materiales apropiados en las intervenciones. Este enfoque se basa en la importancia y el alcance histórico-cultural de estos bienes, a pesar de los desafíos que presenta su conservación (Liberotti y Daneels 2012).

La calidad de la vivienda es un factor determinante en la comprensión de la pobreza energética, ya que la eficiencia térmica de su diseño y materialidad influye en su capacidad para proteger a sus ocupantes de las condiciones ambientales y en la demanda energética necesaria para mantener temperaturas saludables y confortables. Calvo *et al.* (2020) sostienen que las normativas o estándares de calidad de la envolvente térmica de la vivienda pueden garantizar una mejor calidad de vida, por lo que es esencial incentivar a los usuarios a optar por viviendas energéticamente eficientes. Sin embargo, la información sobre la calidad de la envolvente térmica es limitada por dos razones. En primer lugar, una vivienda de alta eficiencia energética tiene altos costos iniciales, lo que dificulta su accesibilidad para la mayoría de los hogares. En segundo lugar, los elevados costos del suelo en las ciudades latinoamericanas, especialmente en la vivienda social, representan un obstáculo adicional. Sin embargo, la producción y el uso del adobe biocompósito pudiese aminorar dichas problemáticas.

El empleo de fibras vegetales, como en el caso del adobe, persiste en la construcción actual, similar a su uso en biocompósitos. Las fibras vegetales son valoradas como

un recurso cultural y económico, debido a su bajo costo de transformación y su uso en el patrimonio artesanal y cultural. La reinterpretación de la cultura, comprendida como una herencia, se manifiesta a través de un patrimonio natural y social en la relación entre naturaleza y ser humano. El adobe encarna valores de identidad en Latinoamérica. De acuerdo con Vázquez-García y Munguía-Lino (2015), estos valores pueden constituirse en temas socioculturales, económicos o tecnológicos, inscritos en una dinámica ambiental que los hace sustentables *per se*. Como parte esencial de los materiales de construcción, las fibras vegetales han contribuido a la identidad y durabilidad del patrimonio cultural y artesanal a través del paso del tiempo (Islas 2014). Estas fibras poseen excelentes propiedades mecánicas y físicas, compitiendo con fibras derivadas de fuentes no renovables como el petróleo.

### Consideraciones técnicas del adobe y fibras de cohesión

Los sistemas constructivos se definen como los procedimientos técnicos y prácticas culturales que facilitan la creación de espacios edificados (Spengler y Ratto 2020). Se pueden identificar tres tipos fundamentales: monolíticos, como la técnica del tapial, de mampostería, utilizando piedra y materiales cerámicos, y mixtos. El saber ancestral prehispánico en la construcción con adobe, tapial, bahareque y pared de mano (muro monolítico de tierra enriquecido con abundante paja en estado plástico), o con caña y guadúa (*Guadua angustifolia*), ha llevado a que estos se clasifiquen como materiales alternativos en la arquitectura contemporánea (Ceballos 1992). Spengler y Ratto (2020) afirman que la inclusión de fibras vegetales y otros elementos en el adobe puede estar influenciada por el entorno natural del lugar de producción. Teniendo en cuenta los argumentos previos, la abundante presencia del agave en México y los principios de la economía circular, se sugiere la utilización de un adobe enriquecido con bagazo y fibra de agave.

Históricamente, se han incorporado fibras naturales al adobe para proporcionar cohesión y estructura. Recientes investigaciones han explorado la diversidad de fibras disponibles en diferentes regiones en Latinoamérica, con el objetivo de mitigar el impacto ambiental generado por el uso de fibras sintéticas en la producción de materiales compuestos tradicionales. Por ejemplo, en Colombia, Sánchez-Cruz, Capote-Rodríguez y Patiño-Quiazua (2023) diseñaron y caracterizaron materiales compuestos alternativos utilizando dos tipos de fibras: *Arundo donax* L. (Caña Brava) y *Guadua angustifolia* Kunth (Guadua), distribuyendo dichas fibras aleatoriamente en una matriz polimérica de aceite de ricino. Los autores concluyen que, a pesar de las ventajas de estos materiales en la construcción, es necesario determinar en profundidad el efecto de los parámetros de diseño en su desempeño mecánico.

En un estudio realizado por Sánchez-Cruz, Capote-Rodríguez y Cárdenas Pulido (2020), los investigadores exploraron el uso de fibras de bambú y su variante *Guadua*, en la producción de materiales de construcción. Sus resultados

revelan que los tratamientos superficiales pueden subdividir la microestructura de las fibras de bambú en microfibras, alterando su morfología, composición química y cristalinidad. Este hallazgo es relevante, ya que la resistencia a la tensión de las fibras se redujo aproximadamente un 20% tras la aplicación de un tratamiento alcalino en la superficie de las mismas.

En Brasil, se ha experimentado con fibras locales como la Curaua, las cuales presentan buenas propiedades mecánicas, un bajo costo de producción y baja densidad, sin embargo, suelen presentar una baja compatibilidad con polímeros no nativos y son térmicamente estables hasta aproximadamente 200° Celsius (Castro, Frollini, Marini y Ruvolo 2013). En Ecuador, se ha destacado la necesidad de buscar componentes adicionales para mejorar las propiedades mecánicas del adobe debido a su relativa fragilidad y baja resistencia a los sismos, a pesar de ser un material de construcción antiguo y accesible (Chuya Sumba y Ayala Zumba 2018). Esto ha llevado a la búsqueda de componentes adicionales para mejorar las propiedades mecánicas del adobe dentro de un marco de sustentabilidad con el fin de evaluar los reforzamientos en el sistema de muros portantes en zonas sísmicas (Chacón Sánchez *et al.* 2021). Lara Calderón y Bustamante (2022) realizaron un análisis tipológico de las construcciones de adobe, tapial y bahareque en 50 inmuebles situados en varias provincias de Ecuador. Los autores concluyen que se deben hacer correcciones para su mejor conservación. Proponen el uso de residuos en la fabricación de adobes y tapias, tales como fibra de coco, ceniza de cáscara de arroz, polvo de ladrillo, desperdicios de madera aserrada, fibras de maíz, té o de palmeras, escorias de alto horno, y, especialmente, plásticos, de los cuales únicamente el 2% es reprocesado.

Investigaciones realizadas en países de alta sismicidad como Perú han experimentado con fibras de Ichu reforzadas mediante tratamientos químicos superficiales. El estudio realizado por Gire Quispe y Cáceres Lupaca (2020) evaluó el comportamiento mecánico de la fibra antes y después del tratamiento. Sus resultados revelan que la formulación del material compuesto de Ichu-PLA presenta mejores propiedades mecánicas en tracción. Otros investigadores, como Li, Noori y Altabay (2021), han proporcionado pautas para mejorar el desempeño sísmico de los edificios con suelo crudo. Cárdenas-Gómez, Gonzales y Damiani (2021) analizaron técnicas constructivas con adobe, concluyendo que el adobe con fibra de caña ofrece seguridad a un costo reducido, menor impacto ambiental y mejor rendimiento térmico en climas fríos.

Roux Gutiérrez y Olivares Santiago (2002) experimentaron con la fibra de coco, demostrando que los ladrillos hechos con prensa hidráulica presentan una mejor absorción y permeabilidad, con una reducción del 23,12% y 47,09% respectivamente. Sin embargo, la fibra de coco incrementa la porosidad del material, lo que puede ser perjudicial en zonas húmedas. Por otro lado, Cobreros (2009) sugiere utilizar diversos materiales fibrosos como refuerzo de retracción, incluyendo sisal, cáñamo, estopa de coco, bonote, aserrín, paja de cereales o cáscara de arroz y hierbas.

A pesar de estos avances, la incorporación de fibras de agave en la producción de adobe no ha sido investigada detalladamente. A diferencia de las fibras sintéticas y algunas fibras naturales, el agave es un material de desecho, lo que contribuye a su reciclaje, reúso y reutilización, premisas básicas de la economía circular. Las estrategias de reforzamiento convencionales han demostrado ser efectivas, no obstante, suelen ser costosas, requieren mucho tiempo para su aplicación y su provisión usualmente depende de los precios y disponibilidad de la materia prima en el mercado, mientras que el adobe propuesto en este estudio tiende a ser económicamente accesible, su tiempo de aplicación es reducido y su abastecimiento es casi inmediato en países latinoamericanos.

En resumen, nuestra investigación contribuye a la creciente literatura sobre la incorporación de fibras vegetales en materiales de construcción, proponiendo un enfoque innovador en el uso de fibras de agave en la producción de adobe. Esta estrategia de reforzamiento no sólo mejora las propiedades mecánicas del adobe, sino que también promueve la sustentabilidad de la industria al utilizar un material de desecho.

### Metodología

La presente investigación es de tipo experimental. La relevancia de la misma radica en ofrecer una propuesta para desarrollar técnicas de reforzamiento con materiales reciclables para bloques de adobe, con el propósito de minimizar sus costos de producción y mejorar sus propiedades mecánicas de resistencia reutilizando materiales que generalmente se desechan y desperdician. Las fibras naturales de bagazo de agave poseen una densidad baja y no liberan gases de efecto invernadero, minimizando la producción de ceniza. Esto ofrece a la industria tequilera una gestión de residuos más eficiente, proporcionando una vía de reciclaje económica y sencilla, añadiendo valor a sus residuos e introduciendo esta técnica de producción de biomateriales compuestos a la economía circular. Nuestra investigación innova al demostrar la eficacia superior de esta combinación en la producción de adobe (Ruiz 2019; 2023).

Nuestra investigación se centra en el estudio de los beneficios del adobe reforzado con bagazo de agave (*Agave angustifolia* Haw), un subproducto de la producción de tequila o mezcal. Este material constructivo de bajo costo ofrece propiedades térmicas y aislantes superiores a otros materiales. En México, se desechan anualmente alrededor de 400,000 toneladas de bagazo y 300,000 toneladas de hojas de agave, lo que representa una fuente significativa de fibras. A pesar de las diversas opciones para deshacerse del bagazo, su abundancia ofrece grandes oportunidades para su reutilización. Hasta la fecha, la explotación de los subproductos fibrosos del agave para la fabricación de productos de alto valor añadido en la construcción no ha sido investigada a profundidad (Ruiz 2019). Es así que, nuestro trabajo sienta las bases para el desarrollo de un nuevo biomaterial compuesto.

Investigaciones previas han demostrado que la adición de fibra de bagazo de agave *Angustifolia Haw* al adobe incrementa su resistencia a la compresión en un 35% en comparación con el adobe tradicional (Ruiz 2019). Nuestro estudio busca expandir este conocimiento técnico, experimentando con diferentes proporciones de bagazo en la mezcla de arcilla y arena. Hemos seleccionado una región en el Estado de México donde se cultiva agave para la producción de mezcal y se fabrica adobe. De esta manera, reciclamos los residuos de agave y los incorporamos en la producción de adobe, creando un material de construcción más resistente y sustentable.

El objetivo de este estudio fue diseñar un biocompósito para la industria de la construcción a partir de la reutilización de fibras de bagazo de agave (*Angustifolia Haw*). Se realizó el estudio de caracterización de las propiedades físico-mecánicas y químicas de diferentes muestras derivadas de la composición original de adobe procedentes del sitio de estudio. Las pruebas realizadas fueron: longitud, peso, humedad, granulometría, peso volumétrico, prueba Proctor, plasticidad, densidad de sólidos, colorimetría, difracción de rayos X, resistividad eléctrica, absorción, potencial de hidrógeno, microscopía de barrido y compresión simple.

A partir del análisis de investigaciones previas y considerando las propiedades físico-mecánicas y químicas del bagazo de agave (*Angustifolia Haw*), hipotetizamos que: La incorporación de fibras de agave y ceniza incrementará la resistencia a la compresión, la capacidad de absorción y la plasticidad de los bloques de adobe.

### Muestra

Los estándares europeos BS EN 12390-1 y del Gobierno de la Región Administrativa Especial de Hong Kong CS1:2010, establecen las normas técnicas para realizar pruebas de resistencia y fuerza en hormigón y concreto endurecido. Estos estándares recomiendan emplear cuatro (4) muestras por cada tipo de material o lote de producción. Siguiendo estas directrices, se evaluaron cinco (5) muestras de cada tipo de composición. Se compararon cuatro (4) tipos de composición de bloques: tierra y zacate, tierra y bagazo de agave, tierra y fibra de agave y tierra, bagazo y fibra de agave. En total, se probaron y evaluaron 20 muestras. Los resultados, presentados en las tablas subsiguientes, representan la media ponderada de las cuatro (4) muestras utilizadas por cada composición.

### Resultados

Las diferentes muestras de adobe que se prepararon en Zumpahuacán, Estado de México, revelan que la muestra número dos (2), elaborada con tierra y bagazo, es menos pesada que el adobe tradicional [Tabla 1].

De acuerdo con Vera y Miranda (2004), la resistencia a la compresión promedio del adobe fabricado en México oscila entre los 0.18 MPa (1.81 kg/cm<sup>2</sup>) hasta los 0.76 MPa (7.57 kg/cm<sup>2</sup>). Los resultados mostrados en la [Tabla 2] confirman que la muestra dos (2) supera a en gran medida a los otros tipos de bloques compuestos.



Figura 1.- Obtención de dimensiones. Fuente: Elaboración propia



Figura 2.- Pesaje de bloques. Fuente: Elaboración propia

Muestra	Composición de los bloques	Dimensiones (cm) y volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso (kg)	Peso Volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )
1	Tierra y zacate (Adobe tradicional)	40.8x21x14 = 11995	18.20	1517
2	Tierra y bagazo de agave	40.1x20x13.9 = 11147	17.20	1543
3	Tierra y fibra de agave	40.2x20.4x14 = 11481	18.10	1576
4	Tierra, bagazo y fibra de agave	39.1x20x14.1 = 10998	17.40	1582

Tabla 1.- Dimensiones, volúmenes y peso de las muestras

Las pruebas a compresión se llevaron a cabo utilizando una prensa Forney QC-150-DR de 2,000 a 20,000 kilogramos-fuerza. Para estimar el peso, el volumen y el peso volumétrico se utilizó una báscula digital Braunker YP-200 con capacidad de hasta +500kg con una superficie de 70x70 cm. Las pruebas se efectuaron en el laboratorio de materiales Ing. Javier Barrios Sierra en la Universidad Autónoma del Estado de México.

Con el fin de medir y calcular la capacidad de absorción de las muestras, se llevaron a cabo dos tipos de pruebas de

absorción: la prueba rápida y la prueba completa. En este estudio, ambas pruebas se realizaron. En la prueba rápida, se pesa el bloque en seco, se sumerge en agua a 2 cm de altura durante 30 minutos y se vuelve a pesar. En la prueba completa, se pesa el bloque en seco, se sumerge completamente en agua a 21°C durante 24 horas y se pesa nuevamente para obtener el peso saturado. El porcentaje de absorción de agua se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad de Absorción} = \frac{\text{Peso}_{\text{saturado}} - \text{Peso}_{\text{seco}}}{\text{Peso}_{\text{seco}}} \times 100$$

El siguiente cuadro comparativo [tabla 3] resume las siguientes propiedades físicas y mecánicas obtenidas de las cuatro (4) muestras de composición: resistencia a la compresión, peso, capacidad de absorción, costo de producción y tiempo de elaboración. Estos factores se clasificaron en una escala Likert, donde 1 representa la mejor condición y 4 la condición más deficiente.



**Figura 3.-** Obtención de dimensiones. Fuente: Elaboración propia



**Figura 4.-** Bloque fracturado por la compresión. Fuente: Elaboración propia

Muestra	Composición de los bloques	Fuerza ejercida (kgf)	Área de contacto (cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (MPa)
1	Tierra y zacate (Adobe tradicional)	1380	418	3.3014	0.3239
2	Tierra y bagazo de agave	1870	419	4.4730	0.4389
3	Tierra y fibra de agave	1400	418	3.3412	0.3278
4	Tierra, bagazo y fibra de agave	1740	419	4.1521	0.4074

**Table 2.-** Resistencia a la compresión. Fuente: Autor

Muestra	Composición	Resistencia a la compresión	Peso	Absorción (%)	Costo de producción	Tiempo de elaboración
1	Tierra y zacate (Adobe tradicional)	4	4	1	2	1
2	Tierra y bagazo de agave	1	1	3	1	1
3	Tierra y fibra de agave	3	3	2	4	3
4	Tierra, bagazo y fibra de agave	2	2	4	3	4

**Tabla 3.-** Cuadro comparativo de propiedades. Fuente: Autor

Los resultados de caracterización demostraron que las arenas, arcillas y cenizas cumplen con las condiciones óptimas en materia de color, densidad, composición química, granulometría, pH y compacidad para elaborar adobes de calidad. Un aspecto relevante de esta investigación es el análisis del comportamiento mecánico de los bloques de adobe a cargas verticales, en especial las pruebas de esfuerzo a compresión simple. La composición de adobe con bagazo ceniza presentó mejores resultados en materia de esfuerzo a la compresión, ligereza y plasticidad que las demás muestras.

Indudablemente, este tipo de investigación experimental abre muchas puertas hacia la edificación sustentable y el fomento de la arquitectura vernácula, sin embargo, se requiere de patrocinios para poder construir inmuebles y poder realizar otro tipo de estudios ante sismos y cambios climáticos actuales.

### Conclusiones

En el contexto de la creciente crisis ambiental global, la huella de carbono de los materiales de construcción convencionales se ha convertido en un problema claro. Este estudio propone una alternativa innovadora que combina técnicas de construcción tradicionales con materiales compuestos naturales, específicamente el bagazo de agave, un subproducto de la industria del mezcal. Esta combinación no sólo mejora las propiedades físicas y mecánicas del adobe, sino que también se alinea con los principios de la economía circular, un modelo económico que busca minimizar los residuos y maximizar la reutilización de los recursos.

El adobe es un componente trascendental en la identidad hispanoamericana con una historia que se remonta a la época precolombina. Es un material emblemático en la arquitectura latinoamericana, tanto en la tradicional como en las nuevas tendencias de diseño (Serrano Barquín, et al., 2020). Diversas investigaciones han demostrado que la modificación química de las fibras naturales es un componente clave en la producción de adobes mejorados. El uso y modificación de estas fibras ofrecen beneficios significativos en comparación con otros materiales de construcción que tienen un impacto ambiental negativo.

Esta investigación es particularmente relevante para las comunidades que dependen de la producción de mezcal, tequila y adobe, ya que proporciona una ruta de reciclaje eficiente y rentable para la gestión de residuos. Para los productores de adobe, al reciclar los residuos de agave en la producción de sus productos, se añade valor industrial y comercial a dichos subproductos, diferenciándolos de sus sustitutos o competidores directos. Para los productores de tequila y mezcal, la reutilización del bagazo de agave representa una reducción en sus costos de operación, ya que se disminuirían los gastos de eliminación de residuos. Igualmente, dichas compañías gozarían de una imagen corporativa socialmente responsable.

Asimismo, la propuesta de adobe con residuos de bagazo de agave tiene implicaciones significativas para la industria de la construcción. Este material ofrece beneficios térmicos, acústicos y aislantes superiores a los de otros materiales de construcción. Comparado con el adobe tradicional, nuestra propuesta incrementa la resistencia a las cargas verticales para muros hasta en un 35%, mejorando la durabilidad y la longevidad de las estructuras construidas con este material.

En términos ambientales, esta composición no genera una liberación neta de gases de efecto invernadero, lo que contribuye a la mitigación del cambio climático. Este es un aspecto crucial, dado que la industria de la construcción es uno de los principales contribuyentes a las emisiones de gases nocivos para el ecosistema.

### Referencias

- ALEM, A. (2003). "Pueblos indígenas, la naturaleza y el desarrollo sostenible". *Futuros. Revista Latinoamericana y Caribeña de Desarrollo Sustentable*, 1 (2): 1-13.
- CALVO, R.; ÁLAMOS, N.; BILLI, M.; URQUIZA, A.; CONTRERAS, R. (2021). "Desarrollo de indicadores de pobreza energética en América Latina y el Caribe". *CEPAL-Serie Recursos Naturales y Desarrollo*, (207) <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47216/4/S2100433.es.pdf>
- CÁRDENAS-GÓMEZ, J. C., GONZALES, M., & DAMIANI, C. (2021). "Evaluation of reinforced adobe techniques for sustainable reconstruction in andean seismic zones". *Sustainability*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/su13094955>
- CASTILLO LEVICOY, C., & PÉREZ LIRA, C. (2020). "Arquitectura en adobe y quincha: construcción de una identidad en torno a los recursos naturales de la ribera del Lago General Carrera en la región de Aysén, Chile". *Ge-Conservacion*, 18: 56-68. <https://doi.org/10.37558/gec.v18i1.769>
- CASTRO, D., FROLLINI, E., MARINI, J., & RUVOLLO-FILHO, A. (2013). "Preparação e Caracterização de Biocompósitos Baseados em Fibra de Curauá, Biopolietileno de Alta Densidade (BPEAD) e Polibutadieno Líquido Hidroxilado (PBHL)". *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 23(1): 65-73.
- CEBALLOS, P. (1992). "Las construcciones en tierra en Ecuador: innovaciones tecnológicas". *Revista INVI*, 7(16): 18-25. <https://doi.org/10.5354/0718-8358.1992.62012>
- CHACÓN SÁNCHEZ, J. P.; SUQUILLO RONQUILLO, B. J.; SOSA CAIZA, D. A. y CELI SÁNCHEZ, C. A. (2021). "Evaluación y Reforzamiento de una Estructura Patrimonial de Adobe con Irregularidad en Planta". *Revista Politécnica*, 47(1). <https://doi.org/10.33333/rp.vol47n1.05>
- CHUYA SUMBA, E., & AYALA ZUMBA, M. F. (2018). Comparación de Parámetros Mecánicos y Físicos del Adobe Tradicional con Adobe Reforzado con Fibra de Vidrio. Universidad de Cuenca, Ecuador. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30095>

- COBREROS, C. (2009). "Uso de fibras vegetales procedentes de explotaciones agrícolas en la edificación sostenible", *Tesina Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona*: Universidad Politécnica de Cataluña.
- DE ANDA ALANÍS, E. X. (2006). *Historia de la arquitectura mexicana*. Barcelona: Gustavo Gili.
- DOMÍNGUEZ VEGA, W. (2010). "La Arquitectura de tierra es una herencia humana". *Ciencias Holguín*, XVI (1): 1-7. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181517919025>
- GAMA-CASTRO, J.; CRUZ Y CRUZ, T.; PI-PUIG, T.; ALCALÁ-MARTÍNEZ, R.; CABADAS-BÁEZ, H.; JASSO-CASTAÑEDA, C.; DÍAZ-ORTEGA, J.; SÁNCHEZ-PÉREZ, S.; LÓPEZ-AGUILAR, F. y VILANOVA DE ALLENDE, R. (2012). "Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 64: 177-188. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94326949003>
- GIRE QUISPE, A., & CÁCERES LUPACA, A. G. (2020). "Evaluación de la influencia del tratamiento superficial sobre el comportamiento mecánico de fibras de ichu en biocompuestos a base de PLA", *Ingeniería*, 28. <https://doi.org/10.14483/23448393.18852>
- ISLAS, G. (2014). "Las fibras de la Yucca: Una alternativa sostenible para el diseño de packaging en alimentos selectos". *Tesis de Maestría en Diseño*. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.
- JOSÉ, N. (2002). "Arquitectura de Tierra: ¿Una Especie En Extinción?", *Cuadernos de la Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales*. Universidad Nacional de Jujuy, Buenos Aires, Argentina (18). <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=18501813>
- LARA CALDERÓN, M. L., & BUSTAMANTE, R. (2022). "Caracterización y Patología de los Muros de Tierra de las Construcciones Andinas Ecuatorianas", *Revista Politécnica*, 49(2): 37-46. <https://doi.org/10.33333/rp.vol49n2.04>
- LI, Z., NOORI, M., & ALTABEY, W. (2021). "Experimental and numerical assessment on seismic performance of Earth adobe walls". *SDHM Structural Durability and Health Monitoring*, 15(2). <https://doi.org/10.32604/sdhm.2021.011193>
- LIBEROTTI, G., & DANEELS, A. (2012). "Adobes en arquitectura monumental: análisis químico-físicos, arqueología y reconstrucción 3D para determinar las técnicas constructivas en los sitios de La Joya (México) y Arslantepe (Turquía)", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 64(1): 79-89. <https://www.redalyc.org/pdf/943/94324474008.pdf>
- MURRAY, A., SKENE, K. & HAYNES, K. (2017). "The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context", *Journal of Business Ethics*, 140: 369-380.
- PINAS, J. M., LIRA, L., HORN, M., SOLIS, J. L., & GÓMEZ, M. M. (2020). "Influence of Stipa ichu on the thermal and mechanical properties of adobe as a biocomposite material". *Journal of Physics: Conference Series*: 1433(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1433/1/012003>
- REVISTA DIGITAL DE LA SECRETARÍA DE TURISMO, comunicado del 26 de junio de 2023. <https://www.gob.mx/sectur/archivo/articulos>
- ROUX GUTIÉRREZ, S. y OLIVARES SANTIAGO, M. (2002). "Utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cemento portland al 6% y reforzados con fibra de coco, para muros de carga en Tampico". *Informes de la Construcción*, 53(478): 39-50.
- RUIZ SERRANO, M. (2019). Conformación de bloques de adobe con residuos de agave "Angustifolia Haw". Estrategia para el desarrollo local sustentable en Santa María La Asunción, Zumpahuacán, Estado de México. *Tesis de Maestría en Estudios Metropolitanos, Urbanos y Regionales*. Facultad de Arquitectura y Diseño. Toluca: UAEMéx.
- RUIZ SERRANO, M. (2023). Caracterización de adobe reforzado con fibra de bagazo de agave y ceniza como estabilizador. Material constructivo sustentable. *Tesis de Doctorado en Diseño en proceso*, Facultad de Arquitectura y Diseño. Toluca: UAEMéx.
- SALIH, M. M., OSOFERO, A. I., & IMBABI, M. S. (2020). "Critical review of recent development in fiber reinforced adobe bricks for sustainable construction", In *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 14: 839-854. <https://doi.org/10.1007/s11709-020-0630-7>
- SÁNCHEZ-CRUZ, M., CAPOTE-RODRÍGUEZ, G., & CÁRDENAS PULIDO, J. (2020). "Métodos de Tratamiento Superficial y su efecto en las Propiedades Físico Mecánicas de Fibras de Guadua", *Revista Ciencia et Technica*, XXV, 25(1). <https://doi.org/10.22517/23447214.20721>
- SÁNCHEZ-CRUZ, M., CAPOTE-RODRIGUEZ, G., & PATIÑO-QUIAZUA, J. (2023). "Influencia del tipo de fibra y del tratamiento superficial de las fibras en las propiedades físicas y mecánicas de compuestos reforzados con fibras vegetales", *Ingeniería*, 28: e18852. <https://doi.org/10.14483/23448393.18852>
- SERRANO BARQUÍN, H., RUIZ SERRANO, M., ZARZA DELGADO, P., RUIZ SERRANO, E., SERRANO BARQUÍN, C., & ESTRADA, R. (2020). *El adobe. Su tradición simbólica y arquitectónica en el Estado de México*. Toluca: Eón/UAEMéx. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/108995>
- SPENGLER, G. y RATTO, N. (2020). "Arqueometría de materiales constructivos en tierra de la aldea de Palo Blanco (Catamarca, Argentina)". *Intersecciones en Antropología*, 21(2): 73-185. <https://doi.org/10.37176/iea.21.2.2020.508>
- VÁZQUEZ-GARCÍA, L. M. y MUNGUÍA-LINO, G. (2015). *Fibras vegetales y las artesanías en el Estado de México*. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.

VERA S. y MIRANDA R. (2004). Comportamiento sísmico de estructuras de mampostería en la república mexicana. *Primera conferencia Internacional de Sismos*, Santiago de Cuba.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2018). *WHO Housing and health guidelines*. Génova: World Health Organization. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241550376>

Beta Gamma Sigma. Cuenta con más de seis años de experiencia en la industria privada y en el sector público como Gerente de Mercadotecnia, Consultor de negocios y administración, Director de Mercadotecnia y Relaciones Públicas. Actualmente, labora como Senior Lecturer para Hong Kong Metropolitan University.

## Autor/es



**Mauricio Ruiz Serrano**

[mruiuze@uaemex.mx](mailto:mruiuze@uaemex.mx)

Universidad Autónoma del Estado de México

<https://orcid.org/0000-0003-4067-8943>

Profesor de la Universidad Autónoma del Estado de México desde 2019. Obtuvo su licenciatura en Ingeniería Física por la Universidad Iberoamericana, tiene una maestría en Estudios Sustentables Regionales y Metropolitanos, Doctorado en Diseño por la Universidad Autónoma del Estado de México. Su línea de investigación es en sustentabilidad y bioconstrucción. Actualmente es docente de la Universidad Autónoma del Estado de México, en Toluca, México

Artículo enviado 12/10/2023  
Artículo aceptado el 18/02/2024



<https://doi.org/10.37558/gec.v25i1.1257>



**Héctor Serrano Barquín**

[hectorsb2012@yahoo.com.mx](mailto:hectorsb2012@yahoo.com.mx)

Universidad Autónoma del Estado de México

<https://orcid.org/0000-0002-0601-1830>

Egresado de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma del Estado (UAEMéx) Maestro en Estudios de Arte por la Universidad Iberoamericana. Doctor en Historia del Arte, investigador de la Escuela de Artes y de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la UAEMéx., de esta última fue director. Ha dirigido dos museos de arte en la ciudad de Toluca y ha ocupado diversos cargos en el área de urbanismo en los sectores estatal y federal. Publicaciones, principalmente sobre temas de diseño y arte: Imagen y representación de la mujer en la plástica mexicana. Cultura visual de género. Lo binario femenino/masculino, Simbolismos de género en conventos novohispanos, entre otros. Miembro del Sistema Nacional de investigadores.



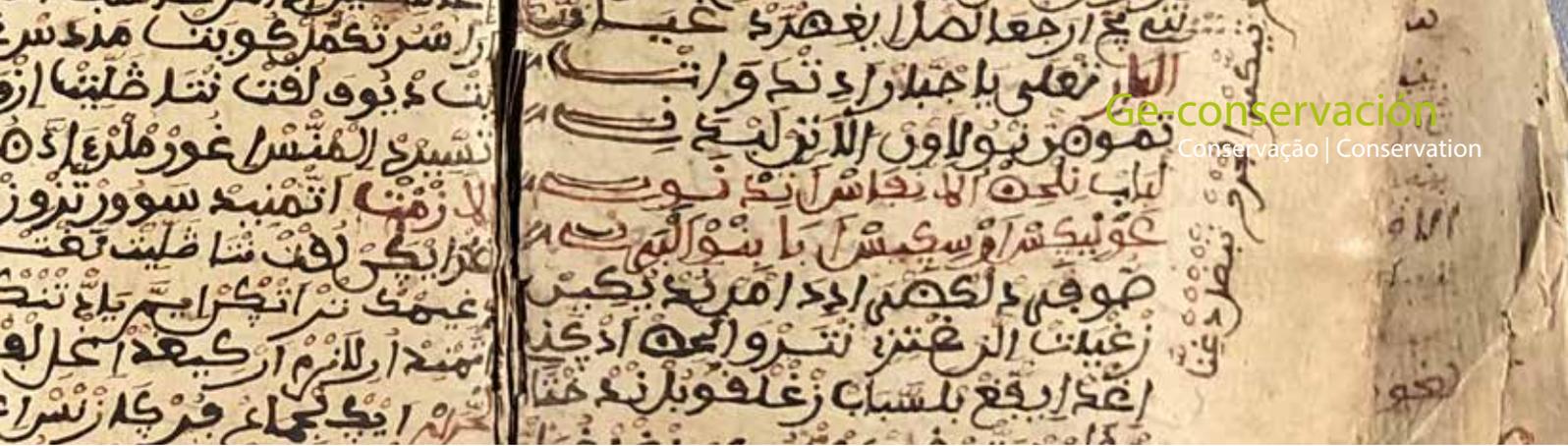
**Andrés Ruiz Serrano**

[rserrano@hkmu.edu.hk](mailto:rserrano@hkmu.edu.hk)

Universidad Metropolitana de Hongk Kong

<https://orcid.org/0000-0002-4019-6621>

Licenciado en mercadotecnia. Licenciado en Psicología. Dipomado en Negocios Internacionales. Cuenta con una Maestría en Administración y un Doctorado en Mercadotecnia. Miembro



## Estudio de los materiales compositivos empleados en la manufactura de un manuscrito bereber del siglo XVIII

Carla Álvarez Romero, Antonio Doménech Carbó, Teresa Espejo Arias, Siranush Hamparzoumian Marín, María Teresa Doménech Carbó

**Resumen:** En este trabajo se presenta el estudio analítico llevado a cabo en un manuscrito bereber del siglo XVIII en el que se han podido caracterizar los materiales que se emplearon para su fabricación, tanto las fibras para la realización del soporte como las tintas roja y negra usadas para escribir, y el colorante utilizado para teñir el papel de la contrasolapa, añadida con posterioridad. La metodología multitécnica empleada incluye técnicas convencionales como microscopía óptica, FESEM-EDX y espectroscopia FTIR, combinadas con técnicas avanzadas de análisis, como son VIMP y FIB-FESEM-EDX, las cuales proporcionan información detallada de las muestras de forma nanoinvasiva.

**Palabras clave:** manuscrito bereber, FESEM-EDX, espectroscopia FTIR, VIMP, FIB-FESEM-EDX, fibras, tintas, colorante

### Study of compositional materials used in the manufacture of an 18<sup>th</sup> century Berber manuscript

**Abstract:** This paper presents the analytical study of an 18th-century Berber manuscript in which it has been possible to characterize the materials used for its manufacture, both the fibers used to make the support and the inks, red and black used for writing, such as the dye used to tint the back-cover paper, added later. The multi-technique methodology includes conventional techniques, such as optical microscopy, FESEM-EDX, and FTIR spectroscopy, combined with advanced analysis techniques, such as VIMP and FIB-FESEM-EDX, which provide detailed information on the samples in a nanoinvasive way.

**Keywords:** Berber manuscript, FESEM-EDX, FTIR spectroscopy, VIMP, FIB-FESEM-EDX, fibers, inks, colorant

### Estudo dos materiais constituintes utilizados no fabrico de um manuscrito berbere do século XVIII

**Resumo:** Este trabalho apresenta o estudo analítico de um manuscrito berbere do século XVIII, no qual foi possível caracterizar os materiais utilizados no seu fabrico, tanto as fibras usadas para o suporte como as tintas, vermelha e preta, usadas para escrever, assim como o corante utilizado para tingir o papel da contracapa, adicionado posteriormente. A metodologia multitécnica inclui técnicas convencionais, como a microscopia óptica, FESEM-EDX e espectroscopia FTIR, combinadas com técnicas avançadas de análise, como VIMP e FIB-FESEM-EDX, que fornecem informações detalhadas das amostras de forma nanoinvasiva.

**Palavras-chave:** manuscrito berbere, FESEM-EDX, espectroscopia FTIR, VIMP, FIB-FESEM-EDX, fibras, tintas, corante

## Introducción

La identificación de los materiales empleados en la elaboración de los manuscritos es esencial para el establecimiento y adecuación de los tratamientos de conservación y restauración. Este hecho es especialmente relevante en el caso de los manuscritos árabes pues eran sucesivamente copiados y los métodos de ejecución reproducidos a lo largo de los siglos, dificultando considerablemente su datación. Desde hace años, el equipo de investigación viene trabajando en el estudio de los materiales y los procesos de elaboración de este tipo de códices y ha obtenido resultados relevantes en relación con la manufactura de los soportes empleados y las materias gráficas utilizadas. Los datos obtenidos han permitido en muchos casos situar el documento en un tiempo y lugar concretos (Espejo Arias y Arias Torres 2009; González García, Campillo García y Espejo Arias 2017).

Si bien son escasos los estudios llevados a cabo en este sentido sobre manuscritos árabes, son inexistentes aquellos realizados sobre manuscritos bereberes. Los bereberes o *amaziges* ("hombres libres") son un grupo étnico que se distribuye desde la costa atlántica del oeste de África hasta la mediterránea, en el oasis de Siwa, en Egipto (como extremos occidental y oriental, respectivamente) y desde la costa del mar Mediterráneo hasta el Sahel (como extremos norte y sur). Tienen su origen en la Antigüedad y han sufrido las influencias sucesivas de las distintas culturas con las que se han relacionado a lo largo de los siglos. Las tribus más conocidas se localizan en Marruecos y en Argelia, donde ya estaban establecidos antes de la llegada de los árabes. Aunque poseen alfabeto propio, el tifnagh,

utilizado tradicionalmente por los tuareg, se usa también el alfabeto latino en Argelia y el alfabeto árabe en otros lugares, como Marruecos (Ouakrim 1995). Este es el caso del documento objeto estudio, lo que ha dificultado considerablemente su interpretación.

La oportunidad de analizar codicológicamente un manuscrito bereber ha permitido aportar información inédita sobre su estructura y materialidad, así como ponerlo en relación con otros modelos árabes de características similares.

Los métodos de análisis que se han utilizado con este objetivo responden a la clasificación de métodos invasivos y no invasivos. Si bien cada vez más son estos últimos los que se están poniendo a punto para la identificación de materiales en libros y documentos, no siempre resultan suficientes para obtener resultados concluyentes que permitan un avance del conocimiento, debiendo ser contrastados o complementados con otros que implican la toma de muestra. En estos casos las técnicas están avanzando considerablemente disminuyendo el tamaño y características de la muestra necesaria en pro de minimizar el deterioro potencial del documento objeto de estudio. Para la presente investigación se han utilizado por primera vez para el estudio material de documentos las técnicas VIMP y FIB-FESEM-EDX las cuales proporcionan información detallada de las muestras de forma nanoinvasiva.

Los resultados obtenidos han permitido caracterizar los materiales empleados en la manufactura de los soportes de papel y las tintas, y han mostrado la influencia directa con los procesos de ejecución de manuscritos árabes y cristianos.



**Figura 1.** - Fotografías del manuscrito bereber analizado. a) Manuscrito bereber cerrado. Vista general de la cubierta (tapa principal y solapa de cierre). b) Manuscrito bereber abierto. Se observan restos del papel adherido a la contrasolapa de cierre, así como el soporte de la escritura y las tintas negra y roja utilizadas.

## El manuscrito bereber

En la figura 1 se pueden observar las fotografías del manuscrito bereber estudiado. Es una obra miscelánea que incluye una poesía en árabe en los primeros folios y dos obras de jurisprudencia islámica (1711) y misticismo (1714), originales de Mohammed Awzal, escritor bereber nacido en la zona del sur de Marruecos en torno a 1680. De las dos obras sólo una conserva los datos del copista en el colofón y la fecha y lugar de la copia, Marruecos 1730. Está escrito en bereber *tashelhit* con anotaciones en árabe, empleando las tintas negra y roja, ya sea para el ductus consonántico como para la vocalización el resalte de palabras o frases determinadas.

A pesar de encontrarse en un lamentable estado de conservación y haber sufrido numerosas intervenciones reparadoras, el manuscrito coincide en materia y forma con la tipología de los manuscritos árabes andalusíes. Está estructurado en dos partes independientes. La cubierta está formada por tapas de papelón revestidas de piel gofrada y parece reutilizada; es de cartera y actúa como contenedor del bloque de texto. El volumen está formado por cuadernos cosidos entre sí. El papel es de manufactura occidental, de pasta de trapos, está verjurado y presenta filigranas, todas ellas localizadas en documentos del siglo XVIII. En el lomo, tanto en la cubierta como en el cuerpo del manuscrito, permanecen restos de adhesivo, y son evidentes papeles adheridos a las tapas a modo de contraguardas. Se desconoce si ambos elementos, cubierta y cuerpo, estuvieron unidos en algún momento o se reunieron con la intención de conservación del documento. Este hecho se ha constatado también en otros documentos de origen andalusí (Hamparzoomian Marín 2022).

## Materiales y métodos

Se han analizado cuatro muestras correspondientes al manuscrito bereber:

- Una muestra del papel azul adherido a la contrasolapa de cierre del manuscrito.
- Tres muestras del soporte de escritura: una sin tinta, otra que contiene tinta negra y otra con tinta roja.

Las muestras se tomaron mecánicamente con bisturí y agujas de tungsteno con ayuda de un microscopio óptico aprovechando fragmentos sueltos o las zonas más deterioradas del manuscrito para evitar daño al documento.

— *Microscopía óptica* - Para realizar la caracterización morfológica de las muestras se ha empleado un microscopio óptico estereoscópico Leica S8AP0 (10x-80x) que lleva acoplada una cámara Leica Digital FireWire Camera (DFC), controlada mediante un

software Leica Application Suite (LAS). Las muestras pudieron ser observadas sin la realización de ningún tipo de preparación previa o montaje.

— *Microscopía de emisión de campo con microanálisis de rayos X (FESEM-EDX)* - Las muestras fueron analizadas con un microscopio electrónico de barrido por emisión de campo Zeiss (Orsay Physics Kleindiek Oxford Instruments) modelo ULTRA 55 que incluye un sistema de microanálisis de rayos X por dispersión de energías Oxford-X Max controlado por un software Aztec. Las imágenes de electrones secundarios se han obtenido aplicando un voltaje de 2kV en la fuente de electrones. Para el análisis elemental se aplicó un voltaje de 20 kV disponiendo el detector a una distancia de 6-7mm de la superficie de la muestra. El diámetro mínimo del haz de electrones fue <5nm a 20 kV. Las muestras fueron recubiertas con C para que tuvieran una buena conductividad eléctrica y montadas en el portamuestras con cinta de carbono de doble cara, asegurándose de que cuando se insertasen en la cámara de vacío no se produjeran movimientos. Las composiciones cuantitativas se han obtenido por aplicación del método ZAF de corrección de efectos interelementales.

— *Microscopía de emisión de campo, microanálisis de rayos X y haz de iones focalizados (FIB-FESEM-EDX)* - Para realizar la caracterización de las muestras mediante FIB-FESEM-EDX se ha empleado un equipo Zeiss (Orsay Physics Kleindiek Oxford Instruments) modelo AURIGA Compact, con una columna FIB que opera a 30kV con corrientes de intensidad de 500  $\mu$ A y 20 nA, fino y grueso respectivamente, para generar iones Ga<sup>+</sup>. Las imágenes en electrones secundarios se han obtenido con un voltaje de 3kV en la fuente de electrones y la composición elemental con un sistema EDX Oxford-X Max controlado por el software Aztec, operando a 20 kV, con el detector situado a 6-7 mm de la superficie de las piezas y con el diámetro mínimo del haz, 5 nm a 30 kV. La zona de la muestra donde se realizó la trinchera fue seleccionada previamente en el FESEM-EDX. Se escogió en todos los casos zonas exentas de depósitos superficiales o partículas de contaminación. Una vez elegida la zona idónea las muestras fueron insertadas directamente en la cámara de alto vacío del microscopio. El análisis semicuantitativo se llevó a cabo utilizando el método ZAF de corrección de efectos interelementales. El tiempo de adquisición de los espectros puntuales y de área (300x300) $\mu$ m fue de 100 s.

— *Espectroscopía FTIR* - Los espectros de absorción IR fueron obtenidos en modo FTIR-ATR (reflectancia total atenuada) mediante un espectrómetro Vertex70 con un accesorio de reflectancia total atenuada (ATR) MKII Golden Gate. El sistema de detección utilizado incluye un dispositivo con recubrimiento para estabilización de temperatura FR-DTGS (*fast recovery deuterated triglycine sulphate*). Las muestras se depositan en la ventana de análisis y posteriormente se obtienen los espectros

de cada una de ellas. Cada espectro se adquirió con un total de 32 barridos y una resolución de  $4\text{ cm}^{-1}$  y se procesaron con el software OPUS/IR 7.2.

— *Voltamperometría de micropartículas inmovilizadas (VIMP)* – Los análisis voltamperométricos fueron llevado a cabo a 298K con un potenciostato CH1660C (Cambria Scientific, Llwynhendy, Llanelli, Reino Unido) con una celda electroquímica de tres electrodos: electrodo de referencia Ag/AgCl (3 M NaCl) de la marca CH, electrodo auxiliar de platino y electrodo de trabajo de grafito parafinado comercial de la marca Faber Castell, HB de 2 mm de diámetro sobre el que se depositaron por abrasión micropartículas de las muestras del manuscrito. Como electrolito se empleó un tampón acético/acetato (Panreac) a 0,25 M y un pH de 4,75 y ácido sulfúrico (Panreac) 0,50 M sin desoxigenación

## Resultados

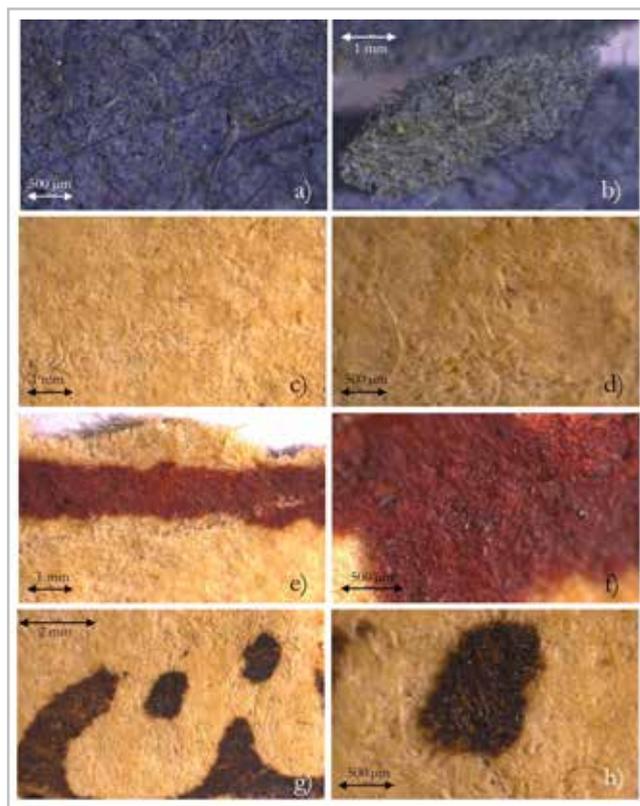
### Micromorfología

*Contrasolapa:* Las figuras 2a y b corresponden a las imágenes de las muestras del papel de la contrasolapa, en ellas se puede observar el entrecruzamiento aleatorio de las fibras teñidas en diferente grado de intensidad de color azul, exhibiendo, algunas de ellas, un color pardo. Los intersticios que deja la trama de fibras se encuentran rellenos de un material criptocristalino que se asocia a una carga inerte añadida que aporta cuerpo y opacidad al papel.

Estas características son reconocidas mediante examen con FESEM. La figura 3c, proporciona una imagen general de la superficie mostrando el grado de entrecruzamiento adquirido por las fibras en el procesado del manuscrito. En la figura 3a se puede observar la abundante carga incorporada a la pulpa, la cual presenta una morfología irregular y granos de dimensiones variables alcanzando talla muy grande ( $60\text{ }\mu\text{m}$  de diámetro máximo). En la figura 3b, se confirma el uso de fibras de algodón, con su característica falsa torsión (Gordon Cook 2006, Gordon and Hsieh 2007, Houck 2009).

*Soporte:* las figuras 2c, d permiten apreciar el grado de compactación y entrecruzamiento de las fibras que, en general, exhiben una longitud menor que las usadas en la contrasolapa. En las imágenes obtenidas con FESEM (Figura 3d-e) se puede observar con más detalle la textura superficial de las fibras individuales y la morfología criptocristalina de la carga mineral de naturaleza arcillosa evidenciada por algunos cristales (ver flechas) de caolín de hábito hexagonal [Figura 3d, f].

*Tintas:* en las figuras 2e, f y 3g se puede apreciar la tinta roja impregnando profusamente las fibras superficiales

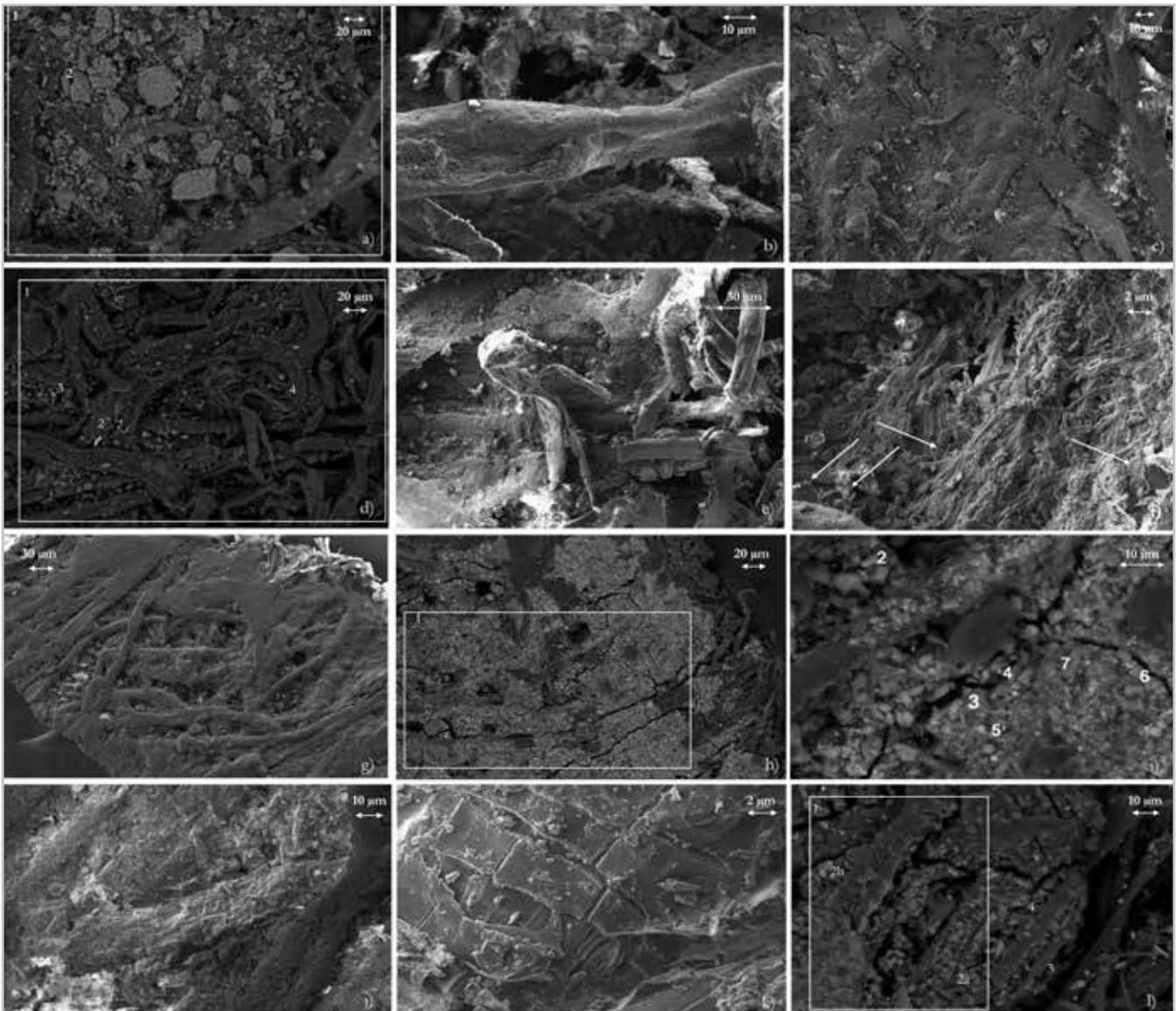


**Figura 2.-** Fotografías de las muestras analizadas del manuscrito bereber. a y b) contrasolapa azul; c) anverso del soporte y d) reverso del soporte; e y f) tinta roja; g y h) tinta negra.

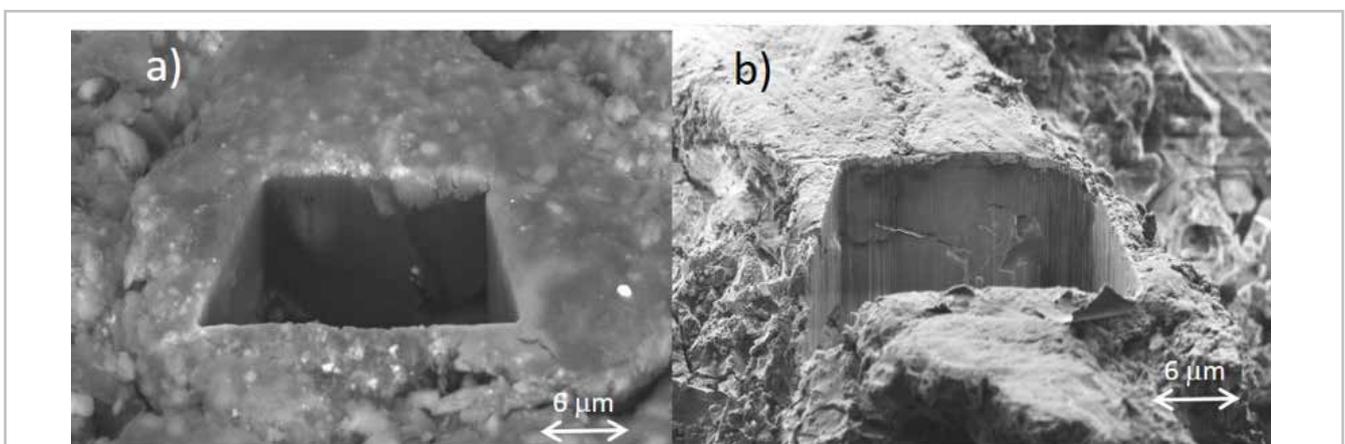
del soporte. Las figuras 3h, i, ponen de manifiesto la presencia de pigmentos con textura criptocristalina densamente compactados con un aglutinante orgánico.

La tinta negra utilizada en el manuscrito presenta una coloración parda y un ligero brillo [Figura 2h]. Las figuras 3j-l ponen en evidencia la morfología de la tinta negra que, a diferencia de la roja, no contiene pigmentos minerales, formando una fina película orgánica de textura amorfa que recubre las fibras [Figura 3j]. En las figuras 3k, l se aprecia en detalle el microcuarteado (escamas de área *ca.*  $25\text{ }\mu\text{m}^2$ ) sufrido con el paso del tiempo.

La aplicación de la técnica FIB-FESEM-EDX ha permitido conocer la micromorfología de las fibras en las áreas del manuscrito donde se aplicaron ambas tintas mediante la realización de secciones transversales (trincheras) de  $10 \times 10\text{ }\mu\text{m}$  utilizando el FIB. En la figura 4a se muestra el corte transversal de una fibra del manuscrito recubierta de tinta roja que está integrada por pigmentos (*vide infra*) depositados en la superficie de la fibra formando una fina película de espesor variable ( $1\text{-}4\text{ }\mu\text{m}$ ) impuesto por el tamaño de los granos de pigmento. La figura 4b muestra en detalle la trinchera practicada en una fibra donde se aplicó tinta negra. Esta tinta de naturaleza orgánica forma una fina película de espesor homogéneo de *ca.*  $1\text{ }\mu\text{m}$ .



**Figura 3.-** Imágenes adquiridas con FESEM en la superficie de las muestras del manuscrito bereber. Contraselapa: a) Carga inerte. Imagen en electrones retrodispersados (BKS), 20 kV; b) Detalle fibra de algodón. Imagen en electrones secundarios (SE), 2 kV; c) Fibras. (SE), 2 kV. Soporte: d) Carga de morfología criptocristalina. (BKS), 20 kV; e) Fibras. (SE), 2 kV; f) Detalle de partículas criptocristalinas de caolín. (SE), 2 kV. Tinta roja: g) Morfología de la tinta roja. (SE), 2 kV; h) Fibras y tinta roja en superficie. (BKS), 20 kV; i) Detalle de la morfología criptocristalina de la tinta. (BKS), 20 kV. Tinta negra: j) Morfología de la superficie. (SE), 2 kV; k) Detalle de la capa de tinta de textura amorfa. (SE), 2 kV; l) Detalle de las partículas de carga inerte. (BKS), 20 kV.



**Figura 4.-** Imágenes de las trincheras practicadas con FIB en las fibras impregnadas con las tintas. a) tinta roja, (BKS), 20 kV; b) tinta negra (SE), 1,5 kV.

### Composición química

Los resultados de la composición elemental y su porcentaje en peso (wt%) de las muestras, obtenidos mediante FESEM-EDX, se presentan en la Tabla 1.

**Papel de Contrazolapa:** En los espectros de rayos X obtenidos en diferentes granos de la carga se identifican los elementos Ca y S (espectro 2) que corresponden a yeso. En los análisis realizados en un área más amplia de la muestra (espectro 1) también se identifica Mg, Al, Si, Cl, K y Ca en baja concentración que se asocian a minerales accesorios de naturaleza arcillosa y cloruros alcalinos.

**Soporte de escritura:** la carga usada está compuesta por calcita, evidenciada por la intensa línea de emisión de Ca (espectros 1 (área amplia de la muestra) y espectro 4) acompañada de diversos minerales arcillosos (espectro 3) Mg, Al, Si, K, Ca, Ti y Fe. El elevado contenido en Fe identificado en el espectro 2 se asocia a óxidos de hierro presentes en las arcillas que también están eventualmente acompañadas de sulfatos y cloruros alcalinos (espectro 2, 3).

**Tintas:** El análisis de un área amplia de la muestra (espectro 1) y la serie de análisis puntuales realizados en la zona donde estaba aplicada la tinta roja permiten identificar abundante Ca asociado a calcita (espectro 2), Si, Al, Mg, K y Fe asociados a minerales arcillosos (espectro 3), Ca y S asociados a yeso

(espectro 5), Fe asociado a óxidos de hierro (espectros 4-7), Pb asociado a minio (espectro 6) y As acompañado de S asociado a rejalgá (espectro 7).

El espectro de rayos X adquirido en una zona amplia de la muestra de tinta negra (espectro 1) evidencia la abundante presencia de Ca asociado principalmente a calcita junto con minerales arcillosos y una significativa cantidad de Fe (10,6 %) y S (8,6%) que podría proceder de sulfato ferroso utilizado en la elaboración de una tinta ferrogálica. En algunos granos se identifica Fe en concentración significativa (9,7 %) acompañado de cantidades bajas de Cu y Zn (espectro 2). En otros granos se identifica Cu (13,5 %) acompañado de Fe, Zn y Ni (espectro 3). En ambos casos se asocia estos granos a restos de vitriolo azul. En otros espectros de rayos X adquiridos en partículas individuales hay predominio de Ca y S (espectro 4) y Si, Al, K, Na, Mg, K, Ca, Fe (espectro 5) asociados a yeso y arcillas.

### Composición mineralógica y molecular

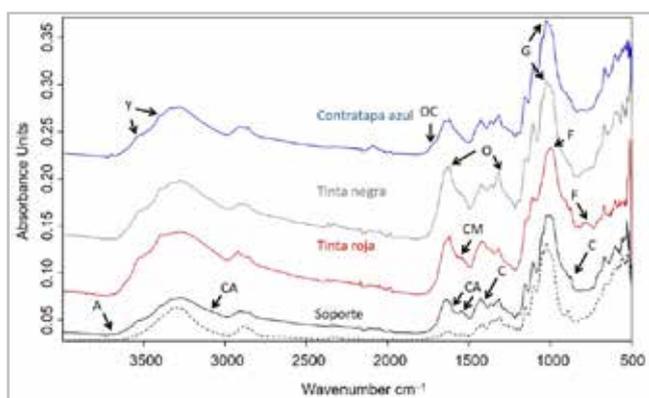
Para completar el presente estudio se han efectuado análisis en las muestras extraídas del manuscrito mediante espectroscopía FTIR y VIMP.

**Papel de Contrazolapa:** En la figura 5 se muestra el espectro de absorción IR obtenido en la muestra de la contratapa.

CONTRATAPA																		
Espectro/ Wt%	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Pb	Total
Espectro 1	45,3	-	0,68	2,2	2,15	-	19,42	1,11	1,31	27,84	-	-	-	-	-	-	-	100
Espectro 2	46,75	-	-	-	-	-	23,22	-	-	30,03	-	-	-	-	-	-	-	100
SOPORTE																		
Espectro 1	37,92	3,14	3,79	3,57	8,46	-	8,03	8,78	5,12	21,19	-	-	-	-	-	-	-	100
Espectro 2	24,95	-	-	0,43	1,05	-	1,8	2,03	1,39	7,19	-	61,16	-	-	-	-	-	100
Espectro 3	44,01	-	3,02	11,85	20,65	-	1,12	-	4,15	7,61	0,59	6,99	-	-	-	-	-	100
Espectro 4	29,74	-	-	-	2,29	-	-	-	-	67,97	-	-	-	-	-	-	-	100
TINTA ROJA																		
Espectro 1	34,05	1,41	1,47	5,29	10,66	-	2,12	1,85	2,86	7,07	-	30,35	-	-	-	1	1,88	100
Espectro 2	28,58	-	-	0,83	1,47	-	-	0,68	1,16	50,22	-	17,05	-	-	-	-	-	100
Espectro 3	45,48	-	1,38	16,29	23,72	-	-	-	8,63	-	-	4,5	-	-	-	-	-	100
Espectro 4	24,39	-	-	1,44	2,31	-	-	1,01	1,03	2,29	-	67,53	-	-	-	-	-	100
Espectro 5	35,09	1,73	1,31	3,9	6,36	-	6,24	1,14	1,6	9,26	-	33,37	-	-	-	-	-	100
Espectro 6	25,4	-	-	2,43	4,39	-	-	1,05	1,08	1,76	-	59,12	-	-	-	-	-	4,76
Espectro 7	27,7	-	-	4,42	5,08	-	2,12	1,08	1,12	2,03	-	37,27	-	-	-	6,65	12,53	100
TINTA NEGRA																		
Espectro 1	36,76	4,66	1,55	3,44	4,92	-	8,6	2,61	6,06	20,87	-	10,55	-	-	-	-	-	100
Espectro 2a	36,04	4,06	1,72	5,7	9,51	0,79	3,46	2,62	6,31	15,49	-	9,73	-	1,91	2,66	-	-	100
Espectro 2b	28,26	7,32	1,75	3,22	3,69	-	1,24	2,5	3,9	16,8	-	6,32	3,88	13,51	7,61	-	-	100
Espectro 3	42	-	-	-	-	-	17,17	-	-	40,84	-	-	-	-	-	-	-	100
Espectro 4	43,28	1,86	4,18	9,63	23,36	-	-	-	9,26	3,51	-	4,92	-	-	-	-	-	100

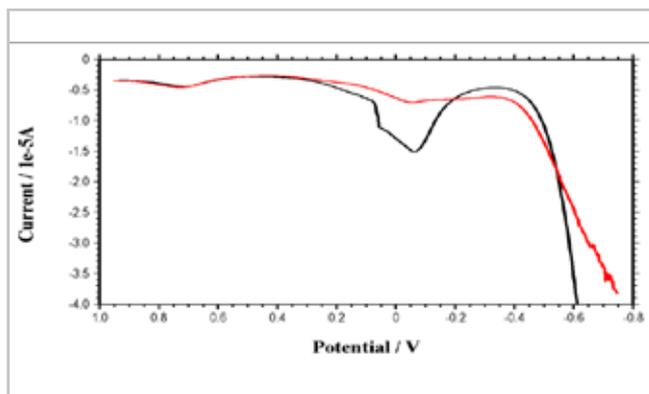
**Tabla 1.-** Composición elemental obtenida en los diferentes materiales identificados en las muestras extraídas del manuscrito. \* Espectro de rayos X adquirido en un área de (300x300) µm.

Además de las bandas propias de las fibras celulósicas de algodón (3328, 3267, 2918, 2850, 1731, 1638(h), 1595(s), 1561, 1511, 1454, 1423, 1369, 1336, 1315, 1278, 1200, 1155, 1106, 1048, 1024, 1000 y 985  $\text{cm}^{-1}$ ) (Kostadinovska y Spirovskaja 2016; Kumar *et al.* 2014) se reconocen algunas bandas no solapadas con las anteriores que son características de yeso (3540(h), 3400(h), 1682(h), 1624, 667, 598  $\text{cm}^{-1}$ ) (Derrick *et al.* 1999) y minerales arcillosos (3694, 3621  $\text{cm}^{-1}$ ) (Madejová *et al.* 2017), las cuales se asocian a la carga empleada para dar cuerpo al papel. También se observa un hombro pronunciado a 1731  $\text{cm}^{-1}$  que se adscribe a compuestos de oxidación de las fibras celulósicas (Kostadinovska y Spirovskaja 2016). Se ha calculado un valor para el Índice Total de Cristalinidad (ITC) definido como el cociente de intensidades de banda I1370/I2900 medidas a 1370 (región amorfa C-II) y 2900  $\text{cm}^{-1}$  (región cristalina C-I) es 0,44.



**Figura 5.-** Espectros de absorción IR adquiridos en muestras de la contrasolapa, soporte, tinta roja y tinta negra. El espectro IR con trazado discontinuo se ha adquirido en un papel no encolado. (A) minerales arcillosos; (C) calcita; (CA) cola animal; (F) minerales feldespáticos; (G) goma arábica; (O) oxalato de calcio; (OC) productos de oxidación de celulosa; (Y) yeso.

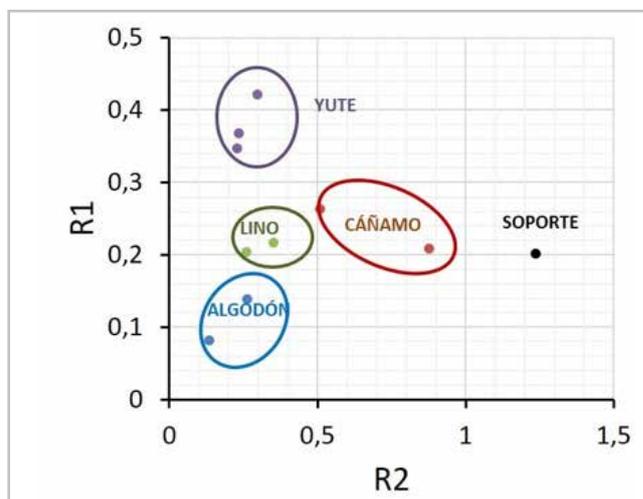
La figura 6 muestra el voltograma obtenido en la muestra de contrasolapa. En ella se puede observar el voltograma de la muestra analizada en color rojo, y el patrón de referencia índigo empleado en color negro para su identificación.



**Figura 6.-** Voltograma de la muestra (línea roja) y de índigo (Kremer pigmente) usado como patrón de referencia (línea negra). 0.25 M HAc/NaAc, pH 4.75; Ref. Ag/AgCl (CH). GCE.

**Soporte de escritura:** El espectro de absorción IR del manuscrito está dominado por las bandas características de fibras celulósicas al igual que la contrasolapa con un valor de ITC calculado de 0,46. También se observan bandas características de calcita (876  $\text{cm}^{-1}$ ) y en menor cuantía yeso y minerales arcillosos asociados a la carga y bandas características de un aglutinante proteico, probablemente cola animal (3285, 3060, 1658-1625, 1542  $\text{cm}^{-1}$ ) (Derrick *et al.* 1999).

Para la discriminación del tipo de fibra vegetal de tallo usado se ha aplicado el método de Garside y Wyeth (2003) basado en la representación de los cocientes de intensidad de bandas IR,  $R_1$  ( $I_{1595}/I_{1105}$ ) y  $R_2$  ( $I_{1595}/I_{1105}$ ) que correlacionan el contenido de lignina relativo al de celulosa en cada tipo de fibra. El diagrama obtenido [Figura 7] sitúa las muestras analizadas en la zona del cáñamo. La desviación observada en el valor experimental puede deberse al efecto interferente del agente de encolado.

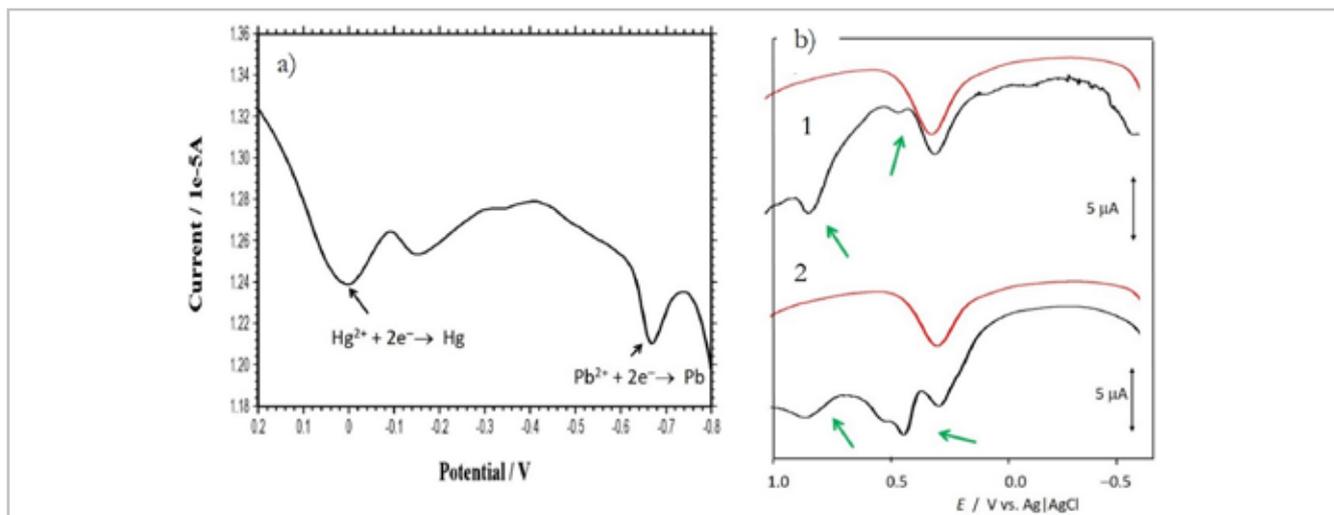


**Figura 7.-** Diagrama en el que se representan los valores de intensidad de bandas de absorción  $R_1$  ( $I_{1595}/I_{1105}$ ) y  $R_2$  ( $I_{1595}/I_{1105}$ ).

**Tintas:** El espectro IR obtenido en la muestra de tinta roja muestra un perfil de bandas IR muy análogo al del soporte con reconocimiento de los mismos compuestos con un ITC = 0,30. Además, se identifican bandas a 995, 799 y 777  $\text{cm}^{-1}$  que se asocian a minerales feldespáticos y arcillosos. También se observa un pequeño hombro a 1731  $\text{cm}^{-1}$  derivado de compuestos de oxidación de las fibras celulósicas (Kostadinovska y Spirovskaja 2016).

En la figura 8a se muestra el voltograma de obtenido en la muestra de tinta roja. Se observan con claridad los picos correspondientes a la reducción de Pb(II) y Hg(II) asociados a minio y bermellón, respectivamente (Doménech-Carbó *et al.* 2009).

El espectro IR obtenido en la muestra de tinta negra muestra también un perfil similar al del soporte con reconocimiento de los mismos compuestos con un ITC = 0,44. En este caso, además, se ha podido identificar goma arábica (1020(s)  $\text{cm}^{-1}$ ) (Derrick, Stulink, Landry 1999), la cual habría sido empleada como aglutinante de la tinta.



**Figura 8.-** a) Voltagrama de la muestra de tinta roja fijada a un electrodo de grafito en contacto con una disolución acuosa de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,50 M. Barrido iniciado a -0,8 V en la dirección positiva; ΔV 4mV; amplitud de la onda cuadrada 25mV; frecuencia 5 Hz. b) Voltagramas de muestra de tinta ferrogálica de referencia (1) y tinta negra del manuscrito (2) fijadas a un electrodo de grafito en contacto con una disolución acuosa de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,50 M. Los trazados en rojo corresponden a voltagramas obtenidos con el mismo electrodo de grafito sin modificar. Barrido iniciado a -0,75 V en la dirección positiva; ΔV 4mV; amplitud de la onda cuadrada 25mV; frecuencia 5 Hz.

La figura 8 muestra el voltagrama obtenido a partir de una muestra de tinta negra (1) y en una muestra de referencia de tinta ferrogálica comercial (Rohre & Klingner, Leipzig, Germany) (2) fijadas por abrasión a un electrodo de grafito en contacto con disolución acuosa de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,50 M. El barrido de potencial en la dirección positiva en el material de referencia muestra una serie de picos de oxidación solapados en el intervalo 0,4 a 0,5 V seguidos de un pico intenso a 0,9 V característicos de la oxidación del ácido gálico (Badea *et al.* 2019; Li *et al.* 2021). Este perfil viene acompañado de una señal de fondo a 0,25 V correspondiente a la oxidación de las funcionalidades de oxígeno de tipo catecol existentes en la superficie del electrodo de grafito. El voltagrama obtenido en la tinta negra del manuscrito está dominado por el pico de oxidación intenso a 0,9 V que coincide con el obtenido en la tinta comercial. También se observan una serie de picos muy débiles, pero bien definidos en el intervalo 0,4 a 0,5 V y otras señales menores en el intervalo 0,0 a -0,5 V. Esto último

es indicativo de una alteración de la tinta en su interacción con la celulosa que da lugar a productos y reacciones cruzadas que promueven la formación de oxalatos de Fe(II) y Fe(III) además de los galátos de Fe(II) y Fe(III) (Melo *et al.* 2022; Jančovičová *et al.* 2007; Ferretti *et al.* 2022; Lerf y Wagner 2016). La descomposición del sulfato de hierro presente en la composición, en ácido sulfúrico y en óxido de hierro (ya sea por acción de humedad o por la del oxígeno), da lugar a dos mecanismos de alteración. Por un lado, la hidrólisis de la celulosa catalizada por la acidez, que desemboca en la ruptura de las cadenas moleculares y en una pérdida de solidez, y por otro, a la oxidación de la celulosa catalizada por el hierro, que provoca una coloración parda, una reacción de fluorescencia UV y un fuerte debilitamiento del soporte (Caterino, Pajer, Crestini 2023).

La tabla 2 resume los resultados obtenidos en el estudio analítico llevado a cabo.

Muestra	Fibra	ITC	Encolado	Carga	Materia colorante	Aglutinante	Otros hallazgos
Contrasolapa	Algodón	0,43	n.d.	Yeso, arcillas caoliníticas	Índigo	Goma arábiga	Alteración del índigo, alteración de las fibras, formación de productos de oxidación carboxílicos en coherencia con el mas bajo valor de ITC de la serie reportado en esta muestra.
Soposte	Cáñamo	0,46	Cola animal	Calcita, arcillas caoliníticas	-	-	El valor de ITC es inferior al calculado en papel de referencia no encolado.
Tinta negra	"	0,44	"	Calcita, arcillas caoliníticas	Tinta ferrogálica	Goma arábiga	Restos de vitriolo verde (Fe) y azul (Cu). En coherencia con el menor valor de ITC se detectan oxalatos metálicos, principalmente de calcio. Alteración de las fibras con formación de oxalatos por la acción de la tinta (Melo et al., 2022).
Tinta roja	"	0,30	"	Calcita, arcillas caoliníticas	Tierra roja, Minio, Bermellón y/o Rejalgar/ oropimente	Goma arábiga	Alteración de las fibras por formación de productos de oxidación carboxílicos en coherencia con el ITC bajo de esta muestra.

**Tabla 2.-** Cuadro resumen de las evidencias experimentales obtenidas en el estudio analítico.

## Discusión

Para la fabricación del soporte del manuscrito se emplearon fibras vegetales, probablemente de cáñamo (Knipe *et al.* 2018) y cola animal como agente de encolado. La cola animal, empleada en la manufactura de los papeles occidentales, contrasta con el uso del almidón o mucílagos vegetales (Barkeshli 2015 y 2016) característicos de los papeles árabes. Como carga se empleó calcita, frecuentemente usada en la fabricación de manuscritos, ya que actúa como preparado para el encolado y regular la absorción de las tintas, además de potenciar su luminosidad, y que también ha servido para proteger el papel de la acción de las tintas ferrogálicas actuando como reserva alcalina (Espejo *et al.* 2008; 2011; Dzinavatonga *et al.* 2014). El resto de minerales y sales identificados están asociados a impurezas de los productos utilizados o contaminaciones contraídas en las manipulaciones efectuadas durante el proceso de manufactura (Espejo *et al.* 2011; Dzinavatonga *et al.* 2014). La escasa concentración en la que se identifica el yeso en las tres muestras de papel sugiere que podría proceder de la manufactura del propio soporte (Espejo *et al.* 2011), ya que en la última fase de preparación del papel se aplicaba yeso por frotación para mejorar su aspecto, homogeneizar las caras y recibir mejor las tintas (Durán Benito *et al.* 2012).

Respecto a la materia colorante identificada se ha podido constatar la presencia de índigo, empleado en la contrasolapa. El uso de índigo ha sido usado muy frecuentemente en manuscritos de diferentes cronologías, tanto con la finalidad de teñir el papel como para la fabricación de tintas azules (Burgio *et al.* 2008; Tanevska *et al.* 2014; Knipe *et al.* 2018; Abdel-Ghani 2022). Ambas tintas, tanto la negra como la roja, fueron aglutinadas con goma arábiga. En la tinta negra, la presencia de restos de sulfato ferroso, acompañado de Cu y Zn (sulfato de cobre), que se habría adicionado al vitriolo verde para potenciar el color, es una evidencia ampliamente utilizada en análisis de tintas ferrogálicas para efectuar una identificación positiva (Kolar *et al.* 2006; Contreras Zamorano 2018). La tinta roja, pudo ser fabricada con pigmentos tierra-óxido de hierro, minio, bermellón y/o oropimente rejalgar, los cuales fueron comúnmente empleados en la iluminación de manuscritos y la preparación de tintas (Espejo *et al.* 2008; Kroustallis 2011; González García 2014; Knipe *et al.* 2018) o, incluso, como agente biocida (Sistach Anguera 2011). La presencia de plomo se asocia a impurezas incorporadas en las sustancias utilizadas en la elaboración de la tinta (Idjouadiene *et al.* 2021). Se han descrito tintas rojas de los siglos XVIII y XIX procedentes de Bugia en el Magreb, en cuya composición se han hallado trazas de Fe, Cu, Zn Ca y Pb que se asocian a impurezas. Los autores de este estudio, aunque no reconocen el colorante rojo utilizado sugieren tentativamente carmín. Sin embargo, por la tonalidad es también posible que se hubiese utilizado granza cuyo uso en la cultura musulmana desde la Edad Media fue bastante común (Barkeshli 2016).

## Conclusiones

La metodología multitécnica propuesta ha permitido realizar un estudio analítico en profundidad de los materiales que constituyen el manuscrito bereber y de las alteraciones que presenta.

El papel de la contrasolapa, añadido con posterioridad a la elaboración del códice, fue fabricado a partir de fibras de algodón, como cargas se emplearon yeso y minerales arcillosos y se usó índigo como colorante para teñirlo de color azul. Además, ha sido posible identificar, aunque de forma tentativa, goma arábiga u otro mucílago vegetal utilizado como encolante.

El soporte utilizado para el cuerpo del manuscrito fue producido a partir de fibras vegetales, posiblemente de cáñamo, con carga de calcita acompañada de otros minerales, arcillas yeso y sales (sulfatos y cloruros), asociados a impurezas o, en atención a su mal estado de conservación, a agentes externos de degradación como suciedad de polución. El uso de cola animal como agente de encolado coincide con los procesos de elaboración occidental del papel. La tinta ferrogálica y la tinta roja presentan composiciones en coherencia con la cronología del documento. Se ha observado un mayor efecto de alteración en la tinta ferrogálica y en la contrasolapa que presentan mecanismos y productos de degradación diferentes. Estos efectos de degradación son perceptibles *a visu* y se han corroborado con los análisis realizados en los dos casos.

## Agradecimientos

La presente investigación está financiada con el proyecto PID2020-113022GB-I00 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033/ y por FEDER "Una manera de hacer Europa", y el proyecto PID2022-142431NB-I00, se ha beneficiado de un contrato postdoctoral Margarita Salas del programa de Recualificación del Sistema Universitario Español-Ministerio de Universidades- financiado por la Unión Europea NextGenerationEu y se enmarca dentro del grupo de investigación Ciencia y Cultura del Patrimonio (HUM-1057). Los autores agradecen la colaboración de Manuel Planes, José Luis Moya y Alicia Nuez, técnicos del Servicio de Microscopía Electrónica de la Universitat Politècnica de València.

## Referencias

- ABDEL-GHANI, M. (2022). "Multidisciplinary study of a Qajar lacquered paintings: Technology and materials characterization" in *Vibrational Spectroscopy*, 119, 103355. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2022.103355>
- BADEA, M.; DI MODUGNO, F.; FLOROIAN, L.; TIT, D.M.; RESTANI, P.; BUNGAU, P.; IOVAN, C.; BADEA, G.E.; ALEYA, L. (2019). "Electrochemical strategies for gallic acid detection: Potential for application in clinical,

- food or environmental analyses" in *Science of The Total Environment*, 672, 129-140. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.404>
- BARKESHLI, M. (2015). "Material technology and science in manuscripts of Persian mystical literature" in *Manuscripts Cultures*, 8: 187-214.
- BARKESHLI, M. (2016). "Historical Persian recipes for paper dyes" in *Restaurator. International Journal for the Preservation of Library and Archival Material*, 37: 49-89. <https://doi.org/10.1515/res-2015-0012>
- BURGIO, L., CLARK, R.J.H., MURALHA, V.S.F, STANLEY, T. (2008). "Pigment analysis by Raman microscopy of the non-figurative illumination in 16th- to 18th-century Islamic manuscripts" in *Journal of Raman Spectroscopy*, 39: 1482-1493. <https://doi.org/10.1002/jrs.2027>
- CATERINO, S.; PAJER, N.; CRESTINI, C. (2023). "Iron-galls inks: preparation, structure and characterization", *Microchemical Journal*, 185: 108258. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.108258>
- CONTRERAS ZAMORANO, G. (2018). "The presence of iron in inks used in Valencian manuscripts from 13th to 17th century" in *Microchemical Journal*, 143: 484-492. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.07.043>
- DERRICK, M.R.; STULINK, D.; LANDRY, J.M. (1999). *Infrared Spectroscopy in Conservation Science*. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.
- DOMÉNECH-CARBÓ, A.; DOMÉNECH-CARBÓ, M.T.; COSTA, V. (2009). *Electrochemical methods in Archaeometry, Conservation and Restoration*, Series: Monograph in Electrochemistry (Ed. F. Scholz), Springer, Berlin, 166.
- DURÁN BENITO, A.; LÓPEZ MONTES, A.; TELLO BURGOS, N.; CASTILLO VALDIVIA, M.E.; BALLESTA CLAVER, J.; BLANC GARCÍA, M.R.; VELILLA SÁNCHEZ, N.; JIMÉNEZ DE HARO, M.C.; GARÓFANO MORENO, I. (2012). Una colaboración interdisciplinaria para el conocimiento científico de los materiales del registro de Torres, en V.V.A.A. *El registro notarial de Torres (1382-1400)*. Granada: Junta de Andalucía, Consejería de Cultura y Deportes.
- DZINAVATONGA, K.; BHARUTH-RAM, K.; MEDUPE, T.R. (2014). "Mössbauer spectroscopy analysis of valence state of iron in historical documents obtained from the National Library of South Africa" in *Journal of Cultural Heritage*, 337-380. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2014.06.004>
- ESPEJO ARIAS, T., LÓPEZ MONTES, A., GARCÍA BUENO, A., DURÁN BENITO, A., BLANC GARCÍA, R. (2008). "A Study about Colorants in the Arabic Manuscript Collection of the Sacromonte Abbey, Granada, Spain. A New Methodology for Chemical Analysis", en *Restaurator*, 28: 76-106. <https://doi.org/10.1515/rest.2008.005>
- ESPEJO ARIAS, T.; LAZAROVA STOYTCHIEVA, I.; CAMPILLO GARCÍA, D.; DURÁN BENITO, A.; JIMÉNEZ DE HARO, M.C. (2011). "Caracterización material y proceso de conservación de la colección de documentos árabes manuscritos del Archivo Histórico Provincial de Granada" en *Al-qantara*, XXXII: 519-532. <https://doi.org/10.3989/alqantara.2011.v32.i2.267>
- FERRETTI, A.; SABATINI, F.; DEGANI, I. (2022). "A Model Iron Gall Ink: An In-Depth Study of Ageing Processes Involving Gallic Acid" in *Molecules*, 27: 23, 8603. <https://doi.org/10.3390/molecules27238603>
- GARSIDE, P.; WYETH, P. (2003). "Identification of cellulosic fibers by FTIR spectroscopy: thread and single fiber analysis by attenuated total reflectance" in *Studies in Conservation*, 48: 269-275. <https://doi.org/10.1179/sic.2003.48.4.269>
- GONZÁLEZ GARCÍA, S. (2014). *Estudio de las encuadernaciones originales datadas de la Colección de manuscritos árabes de la Biblioteca de la Escuela de Estudios Árabes de Granada*. Tesis Doctoral, Universidad de Granada.
- GONZÁLEZ GARCÍA, S.; CAMPILLO-GARCÍA, D.; ESPEJO ARIAS T. (2017). "Novedades sobre la datación de los manuscritos árabes de la Escuela de Estudios Árabes de Granada a partir de su estudio codicológico", en *Al-Qantara*, XXXVIII 1, enero-junio. 99-111. <http://al-qantara.revistas.csic.es/index.php/al-qantara/issue/view/33>
- GORDON COOK, J. (2006). *Handbook of textile fibres. I. Natural fibres*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- GORDON, S.; HSIEH, Y.L. (2007). *Cotton: Science and technology*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- HAMPARZOOMIAN MARÍN, S. (2022). *La codicología al servicio de la conservación de documentos. El caso de un manuscrito bereber*. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Granada.
- HOUCK, M.M. (2009). *Identification of textile fibres*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- IDJOUADIENE, L.; MOSTEFAOUI, T.A.; NAITBOUDA, A.; DJERMOUNE, H.; MECHEHED, D.E.; GARGANO, M.; BONIZZONI, L. (2021). "First applications of non-invasive techniques on Algerian heritage manuscripts: the LMUHUB ULAHBIB ancient manuscript collection from Kabylia region (Afniq n Ccix Lmuhub)" in *Journal of Cultural Heritage*, 49: 289-297. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2021.03.008>
- JANČOVIČOVÁ, V.; ČEPPAN, M.; HAVLÍNOVÁ, B.; REHÁKOVÁ, M.; JAKUBÍKOVÁ, Z. (2007). "Interactions in Iron Gall Inks" in *Chemical Papers*, 61: 391-397. <https://doi.org/10.2478/s11696-007-0053-0>
- KNIFE, P.; EREMIN, K.; WALTON, M.; BABINI, A.; RAYNER, G. (2018). "Materials and techniques of Islamic manuscripts" in *Heritage Science*, 6: 55. <https://doi.org/10.1186/s40494-018-0217-y>
- KOLAR, J.; STOLFA, A.; STRLI, M.; POMPEB, M.; PIHLAR, B.; BUDNAR, M.; SIMCIC, J.; REISSLAND, B. (2006). "Historical iron gall ink containing documents — Properties affecting their condition" in *Analytica Chimica Acta*, 555: 167-174. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.08.073>
- KOSTADINOVSKA, M.; SPIROVSKA, Z.J.; TAYLOR, T. (2016). "A procedure for identifying cellulose fibers in paper Artifacts Differentiating between flax, hemp and cotton" in *The 4th International Virtual Conference on Advanced Scientific Results June, 6-10*.

KROUSTALLIS, S. (2011). "Binding media in medieval manuscript illumination: a source research" in *Revista de História da Arte. Série W*, 1, 112-125.

KUMAR, A.; NEGI, Y. S.; CHOUDHARY, V.; BHARDWAJ, N.K. (2014). "Characterization of Cellulose Nanocrystals Produced by Acid-Hydrolysis from Sugarcane Bagasse as Agro-Waste" in *Journal of Materials Physics and Chemistry*, 2: 1-8. <https://doi.org/10.12691/jmpc-2-1-1>

LERF, A.; WAGNER, F.E. (2016). "Model compounds of iron gall inks – a Mossbauer study" in *Hyperfine Interactions*, 237, artic. 36. <https://doi.org/10.1007/s10751-016-1280-y>

LI, X.; GAO, Y.; XIONG, H.; YANG, Z. (2021). "The electrochemical redox mechanism and antioxidant activity of polyphenolic compounds based on inlaid multi-walled carbon nanotubes modified graphite electrode" in *Open Chemistry*, 19: 961-973. <https://doi.org/10.1515/chem-2021-0087>

MADEJOVÁ J., GATES, W.P., PETIT, S. (2017). "IR Spectra of Clay Minerals. En: Infrared and Raman Spectroscopies of Clay Minerals". W.P. Gates, J.T. Klopogge, J. Madejová, F. Bergaya, (Eds.). Elsevier. Chapter 5, 107-149.

MELO, M.J.; OTERO, V.; NABAIS, P.; TEIXEIRA, N.; PINA, F.; CASANOVA, C.; FRAGOSO, S.; SEQUEIRA, S.O. (2022). "Iron-gall inks: a review of their degradation mechanisms and conservation treatments" in *Heritage Science*, 10, artic. 145. <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00779-2>

OUAKRIM, O. (1995). Fonética y fonología del bereber. Barcelona: Servei de Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona

SISTACH ANGUERA, M.C. (2011). "Aportación al estudio de las tintas. Los colorantes y pigmentos aplicados en manuscritos" en *Actas de la reunión de estudio sobre el papel hispanoárabe. Xàtiva 29-31 de octubre 2009*, 109-116.

TANEVSKA, V., NASTOVA, I., MINCEVA-SUKAROVA, B., GRUPCE, O., OZCATAL, M., KAVCIC, M., JAKOVLEVSKA-SPIROVSKA, Z. (2014). "Spectroscopic analysis of pigments and inks in manuscripts: II. Islamic illuminated manuscripts (16th-18th century)" in *Vibrational Spectroscopy*, 73: 127- 137. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2014.05.008>

## Autor/es



**Carla Álvarez Romero**

[carla.alvarez.romero@gmail.com](mailto:carla.alvarez.romero@gmail.com)

Universitat Politècnica de València /  
Departamento de Pintura, Facultad de Bellas  
Artes, Universidad de Granada

<https://orcid.org/0000-0003-0341-667X>

Doctora en Conservación y Restauración de Bienes Culturales por la Universitat Politècnica de València (UPV) y licenciada en Historia (Prehistoria y Arqueología) por la Universidad Autónoma de Madrid (2012). En 2020 defiende su tesis doctoral con Mención Internacional obteniendo el Premio Extraordinario de Tesis de la UPV en 2021. Sus

investigaciones están centradas en el estudio arqueométrico y la ciencia de la conservación de objetos arqueológicos e históricos, para ello ha colaborado con instituciones españolas como el Museo de Prehistoria de València o el Museo Nacional de Arqueología Subacuática, e instituciones extranjeras, como el Muzeum Narodowe W Krakowie, Polonia. El desarrollo de esta actividad investigadora ha dado lugar a la publicación de artículos en revistas indexadas y a la participación en congresos de ámbito nacional e internacional. Ha desarrollado tareas docentes en el departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la UPV y en el departamento de Escultura de la Universidad de Granada (UGR). En la actualidad cuenta con un contrato Postdoctoral Margarita Salas y se encuentra realizando su actividad investigadora en la UPV y en el departamento de Pintura de la UGR.



**Antonio Doménech Carbó**

[antonio.domenech@uv.es](mailto:antonio.domenech@uv.es)

Departamento de Química Analítica,  
Universitat de València

<https://orcid.org/0000-0002-5284-2811>

Doctorado en Ciencias Químicas por la Universitat de València Estudi General en 1989, desde 1980 ha sido catedrático de Bachillerato compaginando este trabajo con el de profesor asociado desde 1993 hasta 2001 en que pasa a profesor titular y posteriormente, en 2010 catedrático de Análisis Químico en el Departamento de Química Analítica de la Universitat de València. En su trayectoria académica universitaria que supera los 25 años ha publicado cerca de 300 artículos, la mayoría de ellos en revistas indexadas y ha escrito varios libros por invitación para las editoriales Springer y Taylor and Francis sobre análisis electroquímico de bienes culturales. Es topical editor de la revista *Journal of Solid State Electrochemistry* y miembro del editorial board de la revista didáctica *ChemTexts*. Ha dirigido 7 tesis doctorales y numerosos proyectos de investigación competitivos de ámbito regional y nacional.



**Teresa Espejo Arias**

[tespejo@ugr.es](mailto:tespejo@ugr.es)

Departamento de Pintura, Facultad de Bellas  
Artes. Universidad de Granada

<http://orcid.org/0000-0001-8081-559X>

Catedrática de conservación de documentos y obra gráfica de Universidad de Granada. Su curriculum docente y de investigación está directamente relacionado con la conservación y restauración del documento gráfico, material de archivo, libros y encuadernaciones con especial atención al estudio, caracterización e intervención de los manuscritos árabes de al-Ándalus así como de los materiales y de los procesos de ejecución mediante la aplicación de técnicas de análisis y el cuestionamiento y mejora de las técnicas y procedimientos para su conservación y restauración. Desde 1990 ha dirigido numerosos contratos con empresas y proyectos de investigación I+D+I, tesis y becas FPU y FPI. Ha participado en congresos y publicado monografías y artículos en revistas indexadas relacionados con el tema. Ha colaborado activamente en la elaboración de los planes de

estudios para la adaptación de las diferentes titulaciones al EEES con la creación del Grado en conservación y restauración, así como dirigido y coordinado tanto cursos como estudios de máster. Actualmente, asesora a diversas instituciones públicas y privadas en la elaboración de los protocolos de actuación y para la dotación y puesta en marcha de sus laboratorios de restauración así como para el estudio y puesta en valor de sus respectivas colecciones documentales, coordina la especialidad de conservación y restauración de documentos y dirige el Secretariado de Conservación y Restauración de la Universidad de Granada.



**Siranush Hamparzoomian Marín**

[shrestauracion@gmail.com](mailto:shrestauracion@gmail.com)

Archivo Histórico Municipal de Antequera,  
Málaga, España.

Graduada en Conservación y restauración de Bienes Culturales por la Universidad de Granada. Comienza sus estudios en 2006 realizando la Licenciatura de Bellas Artes en la Universidad de Málaga y Sevilla, para continuar como Técnico Superior en Dirección de Obras de Decoración y Máster en BIM Manager. Tras vivir varios años en Francia, comienza su carrera profesional trabajando como directora de obra, realizando numerosos proyectos de diferente índole. Actualmente trabaja de manera autónoma como conservadora-restauradora de documentos para el Museo de la Ciudad de Antequera y para el Archivo Municipal de Antequera, además de para clientes diversos como el Colegio de Abogados de Antequera y numerosas cofradías y hermandades.



**María Teresa Doménech Carbó**

[tdomenec@crbc.upv.es](mailto:tdomenec@crbc.upv.es)

Instituto de Restauración del Patrimonio,  
Universitat Politècnica de València

<https://orcid.org/0000-0003-3660-2161>

Doctorada en Ciencias Químicas por la Universitat de València Estudi General en 1989, desde 1984 hasta 1990 ha sido profesora agregada y catedrática de Bachillerato y desde 1990 es profesora de Análisis Químico de Patrimonio Cultural en la Universitat Politècnica de València (UPV) alcanzando la condición de catedrática en 1999, desde 2005 hasta 2016 ha dirigido el Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV (IRP). En su trayectoria académica universitaria que supera los 25 años ha publicado cerca de 200 artículos, la mayoría de ellos en revistas indexadas y ha escrito dos libros por invitación para las editoriales Springer y Síntesis sobre análisis químico de bienes culturales. También ha dirigido 19 tesis doctorales cuatro de las cuales han recibido Premios Extraordinarios a nivel Nacional y de la UPV y durante su mandato en el IRP ha dirigido la edición de la revista Arché del IRP. Ha coordinado sucesivos programas de doctorado ofertados por el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la UPV. Finalmente cabe destacar que ha dirigido numerosos proyectos de investigación competitivos de ámbito regional, nacional y de la Comisión Europea y ha participado y dirigido un número muy elevado de convenios y contratos de I+D.

Artículo enviado 27/09/2023  
Artículo aceptado el 14/03/2024



<https://doi.org/10.37558/gec.v25i1.1256>



## Tecnologías de imagen multibanda en la documentación de pinturas murales ocultas: la ‘Santa Cena de la Ermita de Sant Roc de Ternils’ (Carcaixent, Valencia)

Miquel Àngel Herrero-Cortell, María Antonia Zalbidea Muñoz

**Resumen:** El presente artículo describe la aplicación de un protocolo multi-técnico y de imagen multibanda, para la identificación de pinturas murales ocultas bajo un estrato de pintura y su sucesiva documentación, durante y después de los trabajos de conservación-restauración. El artículo recoge tres propósitos para el uso de la tecnología multibanda: por una parte, para la confirmación inicial de la presencia de las pinturas bajo uno o varios estratos de cal, a través de imágenes en bandas no visibles del espectro; en segundo lugar, el empleo de las imágenes multibanda como herramientas auxiliares durante en el proceso de restauración de las pinturas; y, en tercer lugar, el registro final de las pinturas descubiertas y ya restauradas. Además de ponerse de manifiesto la operatividad de este tipo de técnicas en la constatación de la existencia de pinturas ocultas —lo que supone una novedosa aportación—, se evidencia su utilidad a la hora de afrontar una intervención restaurativa. Por último, se demuestra la conveniencia del uso de este tipo de imágenes —complementadas con otras técnicas de análisis—, para el conocimiento de los procedimientos técnicos y materiales utilizados en la gestación de la obra.

**Palabras clave:** imagen multibanda, imagen infrarroja, imagen ultravioleta, pintura mural, diagnóstico artística, análisis no invasivos

### Multiband imaging technologies in the documentation of hidden mural paintings: the ‘The Holy Supper at the Ternils, Saint Roch hermitage’ (Carcaixent, Valencia)

**Abstract:** This paper describes the application of a multi-technical and multi-band imaging protocol for the identification of wall paintings (hidden under a layer of paint) and their subsequent documentation, during and after conservation-restoration work. The article sets out three purposes for the use of multiband technology: on the one hand, for the initial confirmation of the presence of the paintings, hidden under layers of lime, through images in non-visible bands of the spectrum; secondly, the use of multiband images as auxiliary tools during the restoration process of the paintings; and, thirdly, the final record of the discovered paintings, already restored. In addition to highlighting the operability of this type of techniques in verifying the existence of hidden paintings (which represents a novel contribution) the paper evidences the usefulness of such techniques when facing a restorative intervention. Finally, the article demonstrates the convenience of using this type of images —complemented with other analysis techniques—, for knowledge of the technical procedures and materials used in the mural artwork.

**Keywords:** multiband image, infrared image, ultraviolet image, mural painting, art diagnosis, non-invasive techniques

### Tecnologias de imagem multibanda na documentação de pinturas murais ocultas: a ‘Santa Ceia da Ermida de Sant Roc de Ternils’ (Carcaixent, Valência)

**Resumo:** Este artigo descreve a aplicação de um protocolo multitécnico e de imagem multibanda para a identificação de pinturas murais ocultas sob uma camada de tinta e a sua sucessiva documentação, durante e após os trabalhos de conservação e restauro. O artigo aborda três propósitos para o uso da tecnologia multibanda: primeiro, para a confirmação inicial da presença das pinturas sob uma ou várias camadas de cal, através de imagens em bandas não visíveis do espectro; em segundo lugar, o uso de imagens multibanda como ferramentas auxiliares durante o processo de restauro das pinturas; e, em terceiro lugar, o registo final das pinturas descobertas e já restauradas. Além de evidenciar a eficácia deste tipo de técnicas na confirmação da existência de pinturas ocultas - uma contribuição inovadora -, demonstra-se a sua utilidade na abordagem de uma intervenção de restauro e, por último, a conveniência do uso deste tipo de imagens - complementadas com outras técnicas de análise - para o conhecimento dos procedimentos técnicos e materiais utilizados na criação da obra.

**Palavras-chave:** imagem multibanda, imagem infravermelha, imagem ultravioleta, pintura mural, diagnóstico artístico, análise não invasiva

## Introducción: tecnología multibanda en el estudio de pinturas murales

Gracias a la inclusión de los sistemas de captación digital, en las últimas décadas han proliferado los estudios de pinturas mediante metodologías no invasivas. Particularmente interesantes resultan aquellas que comprenden distintas técnicas de imagen en diversas bandas del espectro electromagnético, visibles y no visibles (Pereira 2019) comprendidas en el protocolo de imagen multibanda (o en su término en inglés *multiband technical imaging*, MBTI), un método ampliamente utilizado para el examen de obras de arte (Dyer *et al.*, 2013; Grifoni *et al.* 2015; Herrero-Cortell *et al.* 2018; Picollo *et al.* 2019; Herrero-Cortell *et al.* 2022; Rahrig *et al.* 2023). En los últimos años nos venimos ocupando de explorar y mostrar las diversas utilidades del antedicho protocolo en obras de arte, pero ciertamente aún son muy escasas las aplicaciones de este tipo de metodologías en pinturas murales (Cosentino *et al.* 2014; Appolonia 2019; Picollo *et al.* 2020; Artoni *et al.* 2022; Rahrig *et al.* 2023).

Si bien no existe un consenso universal sobre las técnicas que comprende MBTI, a menudo se considera un elenco de imágenes obtenidas en bandas diversas del espectro electromagnético, incluyendo más de una decena de técnicas, de reflexión, transmisión, luminiscencia y falso color (Herrero-Cortell *et al.* 2022). No obstante, no todas pueden aplicarse en pinturas murales, por lo que, en este ámbito la selección resulta algo más exigua, quedando restringida a aquellas técnicas de reflexión y luminiscencia, y, en este caso en concreto, falso color infrarrojo, al no tener aquí el falso color ultravioleta utilidad. En el presente trabajo se han incluido las diversas técnicas multibanda que pueden obtenerse con un sensor fotográfico CMOS, es decir: fotografía visible (VIS); fotografía de luminiscencia visible inducida por radiación ultravioleta (UVL); ultravioleta reflejado (UVR), fotografía infrarroja (IR); y fotografía infrarroja de falso color (IRFC).

En este estudio, se explora el uso de técnicas multibanda (de registro y apoyo) en diferentes etapas metodológicas. El enfoque principal es la localización y documentación de la escena de la *Santa Cena*, la cual estaba oculta bajo múltiples capas de pintura, impidiendo su visualización directa (Rubio 2015; Rubio y Zalbidea 2017a; 2017b). A través de estas técnicas, se logra revelar la escena y obtener información preliminar de gran valor para abordar la subsiguiente remoción y limpieza de las capas superpuestas. Si es muy escasa la literatura referente a aplicaciones de técnicas multibanda en pinturas murales, para el caso que nos ocupa —el de la documentación o localización de vestigios de pinturas ocultas, encaladas o cubiertas por estratos de pintura— podría afirmarse que no existen precedentes. El motivo más probable es porque nunca se ha considerado el valor de estas técnicas con tales fines, aplicadas al muro. Algunos autores han incidido en los beneficios del uso de este tipo de baterías de imágenes en la documentación conservativa, procedimental y

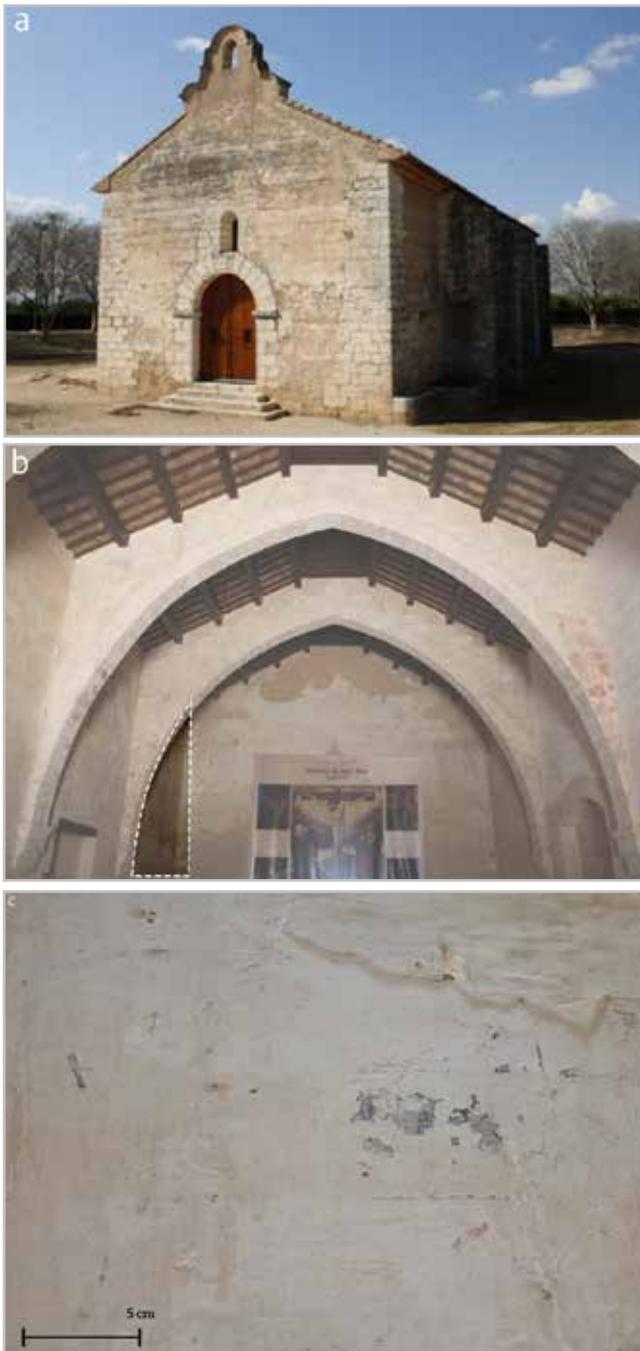
técnica de las pinturas murales (Cosentino *et al.* 2014a; Cosentino *et al.* 2014b; Cosentino *et al.* 2015; Artoni *et al.* 2022), pero nunca sobre pinturas cubiertas.

Siguiendo con el uso de las técnicas multibanda en el presente trabajo, durante la fase de intervención, las imágenes multibanda adquieren un papel instrumental de apoyo, para afrontar proceso de recuperación y restauración con mayores garantías. Por último, para concluir la intervención, se vuelve a aplicar un protocolo multibanda para documentar aspectos materiales y procedimentales de las pinturas, permitiendo una mayor comprensión del conjunto mural, al tenerse en cuenta no solo la banda visible, sino también las bandas no visibles del espectro electromagnético.

### — El caso de estudio: una 'desaparecida' Santa Sena

La ermita de *Sant Roc de Ternils*, actualmente perteneciente al municipio de Carcaixent (Valencia, España) es uno de los mejores ejemplos conservados del 'Gótico de Reconquista' en Valencia (Zaragozá 1990) [Figura 1]. El templo, de primitivo estilo gótico valenciano, nave única, techumbre de dos aguas y arcos diafragmáticos entre contrafuertes, es un claro ejemplo de este tipo de edificios, entre los que destacan también, entre otros, las ermitas de *Sant Felu de Xàtiva* o la *Sang de Lliria* (Rubio y Zalbidea 2019). El inmueble fue construido en el siglo XIII, en el antiguo poblado morisco de Ternils, cercano a la aldea de *Cogullada*, enclave que hoy queda en medio de la Huerta de Carcaixent, en una zona algo apartada del área urbana, situándose en origen sobre una antigua alquería islámica donde se reunirían los primeros feligreses repartidos por el término de *l'Horta de Cent*, dependiente de Alzira (Serra 2007). Por ello, la ermita de Ternils, gozó del privilegio de ser la primera parroquia cristiana instalada en toda la Huerta de Carcaixent, y una de las primeras del antiguo Reino de Valencia. Con la despoblación de *Cogullada*, Ternils quedó relegada a la condición de Ermita extraurbana (como se conoce actualmente). Consagrada inicialmente a San Bartolomé, desde 1573 pasó a ser dedicada a San Roque, nombre que aún conserva (Rubio 2015). El especial interés de este edificio, radica en que no estuvo revestido de decoraciones barrocas, como ocurrió con la mayor parte de templos de ese tiempo. Sí estuvo, sin embargo, encalado repetidamente, ocultando las policromías que lo ornamentarían.

Además de las pinturas murales, existe una policromía decorativa en todo el artesonado, parcialmente conservada. De las pinturas que nos ocupan, ocultas hasta hoy en día bajo capas de cal, se tienen referencias bibliográficas que ponen de manifiesto los avatares que han sufrido. Ya en 1887, el arabista Julián Ribera (*cf.* Garín 1971) había advertido de la existencia de "pinturas al fresco" en el muro junto al lateral del evangelio. La designación de 'fresco', obviamente, corresponde a una manera coloquial de referirse a cualquier pintura mural. Tal identificación



**Figura 1.-** Ermita de *Sant Roc* de Ternils. a) vista exterior. b) vista del interior, con indicación del paño en el que se encuentra el conjunto mural. c) aspecto del muro con eventuales restos de pintura subyacentes ocultas por capas de cal.

se produjo cuando, merced de un somero estudio, se retiró la capa de cal que por entonces las cubría, capa que posteriormente volvió a aplicar el ermitaño que ocupaba la ermita de Ternils. En la pared descubierta, el arabista describe que había representada una Santa Cena donde estaban escritos los nombres de los apóstoles a los pies de cada figura. Sin embargo, su testimonio no trascendió hasta tiempos recientes, cuando Felipe Garín (1971: 9) lo reporta, si bien éste ya no pudo ver las pinturas. Según Elías Tormo (1929: 435) también el historiador Roque Chabás en 1908 nombra su existencia bajo capas de cal y,

por su parte, afirma que “... en la igr. [sic.] que fue del pueblo de Ternils, despoblado hace muchos siglos, junto al Júcar a 2 km, apenas se conservan ya unas pinturas murales de la Edad Media”. También manifiesta que sobre las figuras representadas se pueden leer los nombres escritos con caracteres góticos, que designan los personajes, dispuestos en una línea: “·s·jacm·s·mteu·s·jacm·s·brtmu·s·perejh... [sic.]”. Añade Chabás que, bajo la escena de la Santa Cena, se representa otra en la que aparecen dos figuras de unos 50 cm, que hoy en día se reconocen como san Senén y san Abdón (Daràs 2016; Rubio y Zalbidea 2017a). El hecho de que Chabás sólo describa los nombres de cinco apóstoles y tampoco acabe de completar la descripción general de la escena, debe interpretarse, en nuestra opinión, como una muestra del mal estado de conservación en el que se encontraba la pintura mural a comienzos del siglo XX.

Con motivo de la investigación doctoral de Rubio (2015) a propósito de la pintura mural gótica valenciana, los vestigios de la iglesia de Ternils volvieron a cobrar importancia como un ejemplo muy significativo en dicho territorio. En aras de poder investigarlas se pensó en realizar estudios técnicos fotográficos no invasivos, que pudieran aportar datos diagnósticos determinantes tratando de poder previsualizar lo que pudiese quedar de dichas pinturas bajo los estratos que las cubrían.

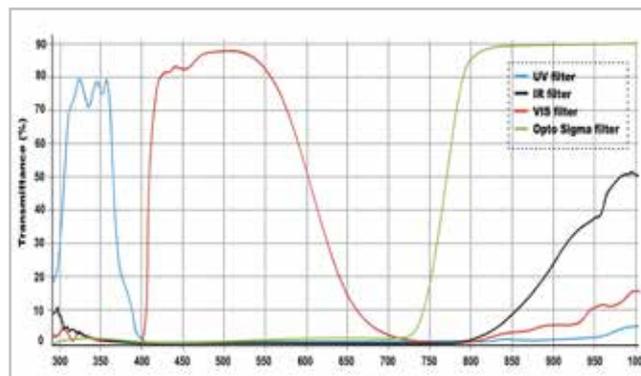
En una primera campaña tentativa, en 2020, se determinó trabajar con imagen infrarroja, para comprobar si algún tipo de información podía recabarse sobre la existencia de pinturas murales bajo los estratos de cal que las cubrían, así como sobre su eventual estado de conservación. Dadas las dimensiones del paño sobre el cual se encontraban las pinturas (9m x 4m), se montó un andamio móvil en el presbiterio de la ermita y se procedió a tomar la fotografía IR. Para ello se utilizó una cámara Nikon® D800, equipada con un filtro Heliopan 1000. Al forzar el contraste de la imagen, pudieron intuirse las pinturas ocultas (en especial los nimbos y las siluetas de algunas figuras de apóstoles), lo que permitió una interpretación provisional de parte de la escena, que en gran medida parecía haberse conservado bajo los estratos de cal.

A partir de la obtención de la mencionada fotografía infrarroja, se consideró interesante explorar el potencial uso de otras imágenes en bandas visibles y no visibles, que pudieran servir para recabar una mayor información específica (Pereira 2019). Se consideró que debían probarse técnicas como la luminiscencia visible inducida por radiación ultravioleta (UVL). El fenómeno de la luminiscencia (a menudo llamado fluorescencia) goza hoy de una larga tradición en nuestro ámbito, desde los primeros estudios de Rorimer (1931), habiendo crecido paulatinamente (Aldrovandi y Picollo 1999: 67-84), especialmente en lo concerniente a la visualización de repintes y barnices (Mairinger 2000: 56-65). También en lo alusivo al propio fenómeno de luminiscencia característico de ciertos materiales pictóricos han ido apareciendo publicaciones (de la Rie 1982: 1-7; 65-69; 102-108 y 1986:

91-108; Poldi y Villa 2006: 157-161). Por último, desde tiempos más recientes, existen ya referencias que abordan específicamente los fundamentos físicos, teóricos y prácticos del método, así como la instrumentación y sus variables (Picollo *et al.* 2019). Sin embargo, resulta curiosa la escasa atención que ha recibido en el ámbito de la pintura mural, en el que, paradójicamente la imagen UVL puede resultar especialmente útil. En presencia de morteros a base de carbonato o sulfato de calcio, típicamente luminiscentes, ciertos elementos realizados con materiales absorbentes, como los pigmentos tierra o los negros, devienen claramente visibles por contraste. También algunos materiales pictóricos, orgánicos e inorgánicos, exhiben un característico comportamiento de luminiscencia (Herrero-Cortell *et al.* 2022), por lo que en ocasiones se ha podido realizar un cierto mapeo del material pictórico (Boularand *et al.* 2019), además de visualizar de forma mejorada las siluetas de las figuras (Artoni *et al.* 2022). La imagen ultravioleta reflejada, en cambio, no ha sido muy utilizada en el ámbito de la pintura mural, al ser aparentemente más reducidas sus posibilidades, pero igualmente se pensó que podría ser útil, al menos para obtener cierta información sobre la textura del muro y su estado conservativo. Otras técnicas, como la fotografía reflejada infrarroja o la imagen infrarroja de falso color sí gozan de una mayor tradición en la documentación de conjuntos murales (en particular la segunda, por la información que puede aportar acerca de las metodologías de trabajo usadas y en el mapeo de pigmentos).

## Materiales y métodos

Como se ha indicado, los primeros resultados obtenidos en 2020 nos empujaron a utilizar otras metodologías de imagen en bandas visibles y no visibles del espectro. Así, se decidió aplicar un protocolo multibanda más completo en una segunda campaña de trabajo realizada en 2022. Para obtener las diversas imágenes que conforman este segundo estudio, se utilizaron diversos equipamientos y dispositivos de iluminación y radiación. Por una parte, para la imagen visible (VIS), para la fotografía infrarroja (IR), para la fotografía ultravioleta reflejada (UVR), y para la luminiscencia visible inducida por radiación ultravioleta (UVL) se utilizó una Cámara Nikon® D800 digital *full spectrum* (36 MP, con sensor CMOS, de sensibilidad entre 300 y 1100 nm), con un objetivo Nikon Nikkor de 50 mm 1:1. Los diversos filtros utilizados fueron el pack de filtros de fotografía técnica Robertina® de Cultural Heritage Science Open Source (CHSOS), similar al descrito en otros artículos (Herrero-Cortell *et al.* 2022), y cuyos espectros de transmitancia adjuntamos [Figura 2]. Adicionalmente, se utilizó el filtro OptoSigma ITF-50S-76IR, que, por su naturaleza, permite todo el paso de banda a partir de los 760nm, [Figura 2] (curva espectral verde), a diferencia del filtro Heliopan 1000 que, al igual que el filtro IR del set Robertina®, va abriendo progresivamente el paso de banda desde los 800nm hasta los 1000nm [Figura 2] (curva espectral negra).



**Figura 2.-** Espectros de transmitancia de los filtros empleados. Obsérvese el diverso comportamiento de los filtros infrarrojos. En negro el filtro de CHSOS®, de comportamiento similar al Heliopan 1000 y en verde el Optosigma®.

Para la obtención de imágenes VIS e IR se utilizaron dos lámparas halógenas (800W) con difusor, orientadas a unos 45°, mientras que para las técnicas de UVL y UVR se utilizó una lámpara Fabrizio UV High-Flux 365nm LED (filtrada y exclusivamente con paso UV y corte de emisión VIS-IR) proporcionada también por CHSOS. Esta lámpara fue utilizada barriendo la superficie del mural y variando el tiempo de exposición. Para el calibrado de las imágenes se utilizó una carta de calibración CHSOS, consistente en una tarjeta AIC PhD (*The American Institute of Conservation Photo Documentation*), que incorpora adiciones pigmentarias que responden en bandas IR y UV. Las imágenes se tomaron en formato RAW y se corrigió su color mediante el balance de blancos, usando el gris neutral N8 de la tarjeta AIC. Además, se corrigió la exposición: N8 150 +/- 5 para VIS. El mismo gris se utilizó en la corrección de otras imágenes 100+/-5 para IR y 50 para UVR (Herrero-Cortell *et al.* 2018: 6).

Para un conocimiento más preciso de los materiales utilizados en la realización de la pintura se recurrió al empleo de espectroscopía de reflectancia FORS, utilizando un espectrómetro Gorgias®, suministrado por CHSOS. La espectroscopía FORS muestra, para cada longitud de onda, la relación entre la intensidad de la luz reflejada y la luz incidente, medida con respecto a una referencia blanca estándar (reflectancia). Los espectros de reflectancia proporcionan información útil para la identificación de pigmentos. El espectrómetro de reflectancia cubre el rango espectral de 300-1000 nm con una resolución de 2 nm. Tiene una electrónica básica de 16 bits y un núcleo de matriz lineal Toshiba® TCD1304DG (sin patrón de interferencia), de 3648 píxeles. El dispositivo cuenta con una sonda de fibra óptica de reflectancia (un tubo entorchado de acero inoxidable de 7 fibras de 600 micras (6 fibras de excitación, 1 fibra de recolección).

Por último, se recurrió a la microscopía de superficie, para observar el aspecto de los pigmentos y entender mejor ciertas patologías. Para ello, se utilizó un microscopio-USB Dino-Lite, con luz led, modelo MEDL4HM, capaz de llegar hasta los 200X. Este microscopio de superficie, al incorporar un polarizador, está diseñado para reducir los reflejos, ya que

mejora la nitidez de la imagen al modular la luz y cambiar su orientación, impidiendo la distorsión óptica causada por la refracción superficial.

### Resultados preliminares

#### —Imagen infrarroja

La fotografía infrarroja preliminar se tomó a modo de prueba, con escasas esperanzas sobre su posible funcionalidad o utilidad. Sin embargo, el resultado fue sorprendente. No esperábamos haber obtenido una información significativa de la misma, pues sobre películas claras o de tonalidad blanca (como era el estrato que cubría tales pinturas) la radiación tiende a rebotar, dificultando la visualización de estratos subyacentes (Herrero-Cortell *et al.* 2021: 69). Sin embargo, no fue así, y pudimos obtener una imagen en la que se podía intuir bastante la composición de la escena y la disposición de las figuras, evidenciándose algunos ropajes y construcciones anatómicas.

Apoyándonos en ciertos trabajos de caracterización de los filtros IR, se estimó conveniente utilizar un filtro de mayor paso

de banda (Deng 2020: 88-113), para tratar de optimizar aún más los resultados. Así, en la segunda campaña, acometida en 2022, se tomó una nueva fotografía infrarroja de las pinturas (implementando el antedicho filtro OptoSigma ITF-50S-76IR). Esta imagen consiguió recabar una información algo más definida de la escena, al obtener un reflectograma con una mayor señal en la banda infrarroja [Figura 3].

#### — Imágenes multibanda preliminares

Como se ha indicado, dados los buenos resultados de la primera fotografía infrarroja, tomada tentativamente, se pensó en una secuencia multibanda que incluía otras técnicas, entre las que se contó con luminiscencia ultravioleta (UVL), a priori un tipo de imagen que se tendería a concebir como poco adecuada para el propósito de documentación de las pinturas subyacentes. De hecho, conviene subrayar que el papel de esta técnica nunca se ha descrito en casos de pinturas ocultas. No es de extrañar, por una parte, por su baja capacidad de penetración en los estratos y, por otra, porque que la luminiscencia emitida por los materiales puede ser mitigada casi en su totalidad al ser recubiertos por un estrato pictórico. No obstante, el fenómeno



**Figura 3.-** Yuxtaposición de la imagen visible y la imagen IR del paramento con restos de policromía (9m x 4m). En la imagen IR puede observarse cómo mientras que algunas decoraciones en rojo y ocre tienden a desaparecer, en el centro de la imagen (evidenciado en amarillo) se viene observando un conjunto de figuras.

también puede darse al revés, como avanzábamos, al incrementarse por contraste la fuerte absorbancia de ciertos materiales, frente a zonas luminiscentes. Así, por ejemplo, en la imagen UVL [Figura 4] las siluetas de los apóstoles, junto con ciertos ropajes, sus caras o sus nimbos se llegan a apreciar de manera mucho más clara incluso que en la imagen IR, al tiempo que se observa comparecer una banda horizontal en la parte superior que permite adivinar ciertos caracteres góticos. También se observan unas aguadas ligeramente luminiscentes (probablemente restos de pintura a la cal) y numerosas salpicaduras de color blanco que, curiosamente, no son perceptibles a

simple vista. En zonas en las que se ha perdido el estrato pictórico que ocultaba las pinturas se observa, además, una cierta luminiscencia de color amarillo intenso. Es evidente que la imagen UVL está aportando información muy precisa que no puede ser percibida de otra manera y que ayuda a esbozar una idea de la composición subyacente, complementando la información recabada con la fotografía IR [Figura 3].

Para fomentar una mayor legibilidad (no distorsionada por el color característico de esta técnica), se trabajó con diversas imágenes MBTI en blanco y negro (escalas de



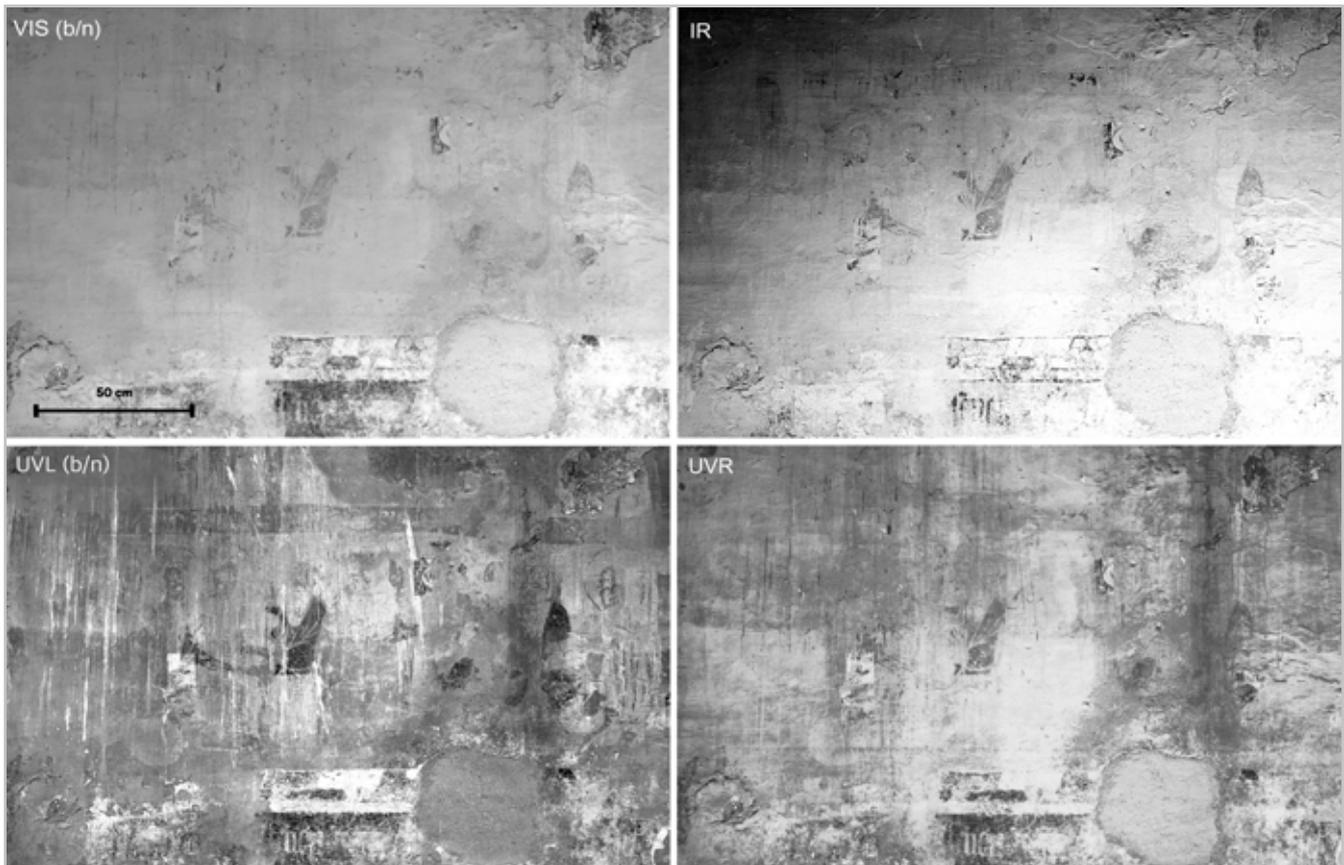
**Figura 4.-** Confrontación de un detalle de la Santa Cena en imagen visible y el mismo detalle en luminiscencia visible inducida por radiación ultravioleta (UVL).

grises), [Figura 5], comenzando por las imágenes visibles, que fueron sometidas a un proceso de postproducción para intensificar el contraste y la nitidez. Esto mismo fue aplicado también a la mencionada imagen UVL que, en blanco y negro, permitía una lectura aún más definida de los personajes subyacentes [Figura 5: inferior izquierda]. La imagen IR, por su parte, y como anteriormente se ha advertido, venía a mostrar el conjunto de las figuras, evidenciando las siluetas con cierta claridad, así como una serie de manchas oscuras identificables como ropajes, que en la imagen visible llegaban a percibirse tras aumentar el contraste y la nitidez, aunque no con tanta claridad. En la imagen IR ciertos colores devienen prácticamente transparentes, al tiempo que se potencian los materiales ricos en carbón, haciéndose más visibles (Poldi y Villa 2006: 157-161). Por ello, las líneas de contorno, así como ciertas letras góticas de la leyenda inferior, se aprecian más claramente aquí —fenómeno ya explicado por Artoni *et al.* (2022)—. La mayor o menor legibilidad de la imagen subyacente viene determinada por factores variables, como la existencia de materiales carbonosos o absorbentes en la banda IR, o bien por el grosor de la capa de cal que oculta las pinturas. De hecho, al ser esta capa irregular, la escena

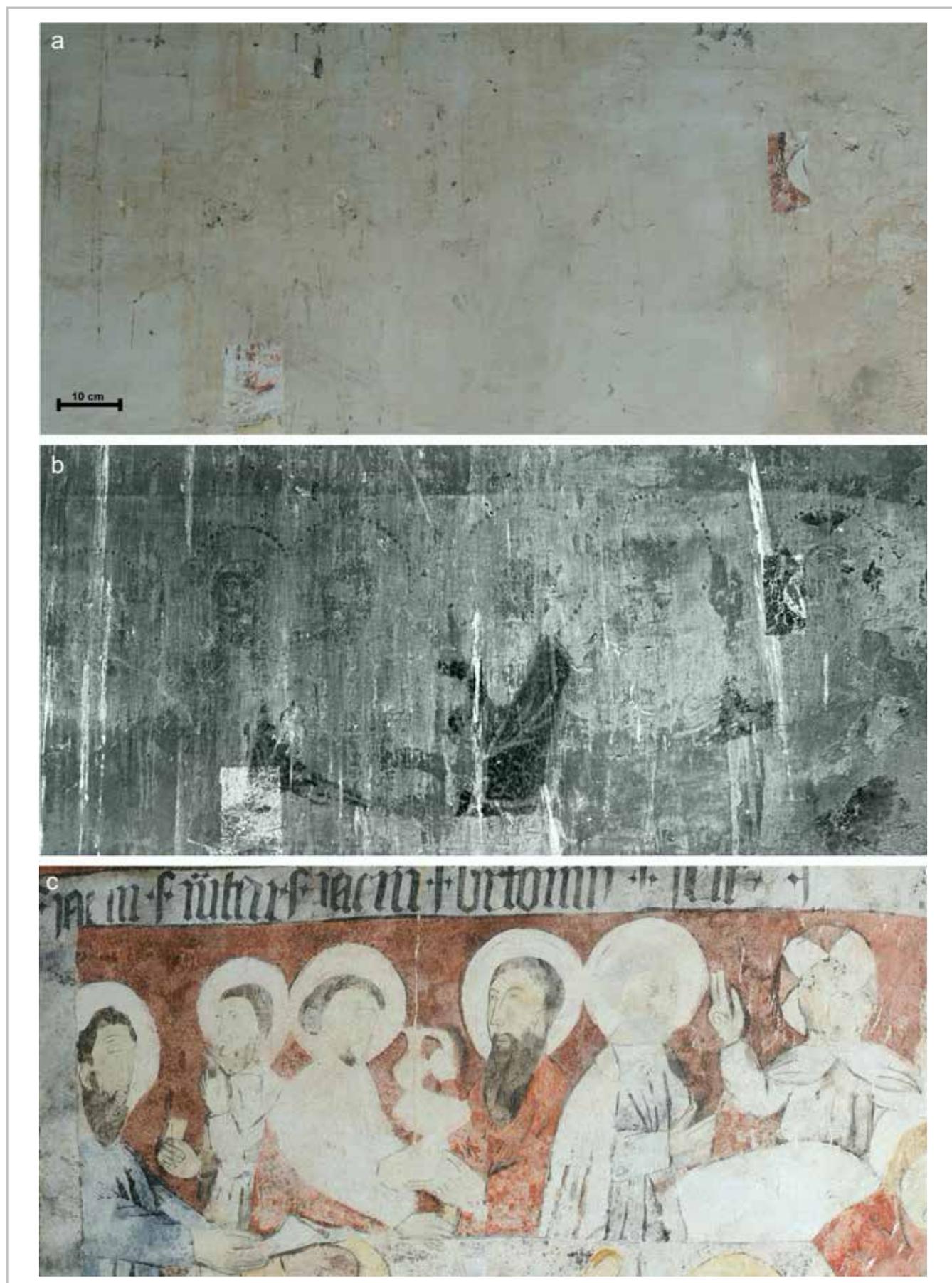
no se consigue colegir en la totalidad de la fotografía IR, aunque sí en una buena mayoría de la misma. Por su parte la imagen UVR aporta interesantes datos sobre la textura de la pintura y, al mismo tiempo, en las áreas descubiertas de la misma, permite una legibilidad mayor, como sucede en el pequeño fragmento de friso con letras góticas.

A veces, los materiales dejan una huella y aunque hayan desaparecido, pueden leerse vestigios de estos en las diversas técnicas. Así sucede, por ejemplo, con unas decoraciones punteadas que se podían apreciar circundando los nimbos de los apóstoles sobre los estratos de cal que cubrían el muro, en técnicas como el UVL preliminar [Figura 6b]. Probablemente se tratase de elementos añadidos, en forma de bullones, posiblemente de cera, práctica reportada en fuentes como Cennini (Cap. CXXX), que, aunque desprendidos del muro, dejaron una mancha absorbente, visible en técnicas como la de luminiscencia inducida por radiación ultravioleta.

Por todo ello, las imágenes obtenidas en bandas diversas del espectro consintieron una legibilidad preliminar del conjunto pictórico, aspecto fundamental que permitió



**Figura 5.-** Imágenes multibanda en diversas bandas espectrales. Obsérvese como cada una de ellas aporta una información diferente. La imagen VIS en blanco y negro contrastado muestra ligeramente donde se encuentran las figuras. La imagen IR, por su parte las hace mucho más visibles, del mismo modo que llega a evidenciar una banda con texto gótico en la parte superior y ciertos caracteres góticos en la parte inferior, mostrando los lineamientos más oscuros, realizados con materiales carbonosos. Así, por ejemplo, sobre un fondo claro se lee: ‘sene [...]’. La imagen UVL muestra manchas de diversos tipos, goterones y humedades que no son visibles en las anteriores imágenes. Destacan, entre los elementos revelados por esta técnica, los nimbos punteados. La imagen UVR, por su parte, hace evidentes manchas (algunas no coincidentes con las visibles en UVL) y otros detalles de la textura del muro (obsérvese, por ejemplo, el tercio derecho de la imagen).



**Figura 6.-** Detalle de la *Santa Cena*. a) fragmento antes de la intervención. Se aprecian dos catas preliminares. b) El mismo fragmento documentado en UVL (b/n), antes de la remoción del estrato que lo cubría. Obsérvense las manchas en forma de puntos alrededor de los nimbos de los apóstoles. c) El mismo fragmento durante el proceso de restauración.

abordar la remoción de la capa de cal con una referencia o pauta de aquello que se esperaba encontrar. Así, durante los sucesivos meses, comenzaron las tareas de conservación-restauración, centradas en la remoción del estrato pictórico que ocultaba las pinturas.

— *Imágenes multibanda durante la fase de restauración*

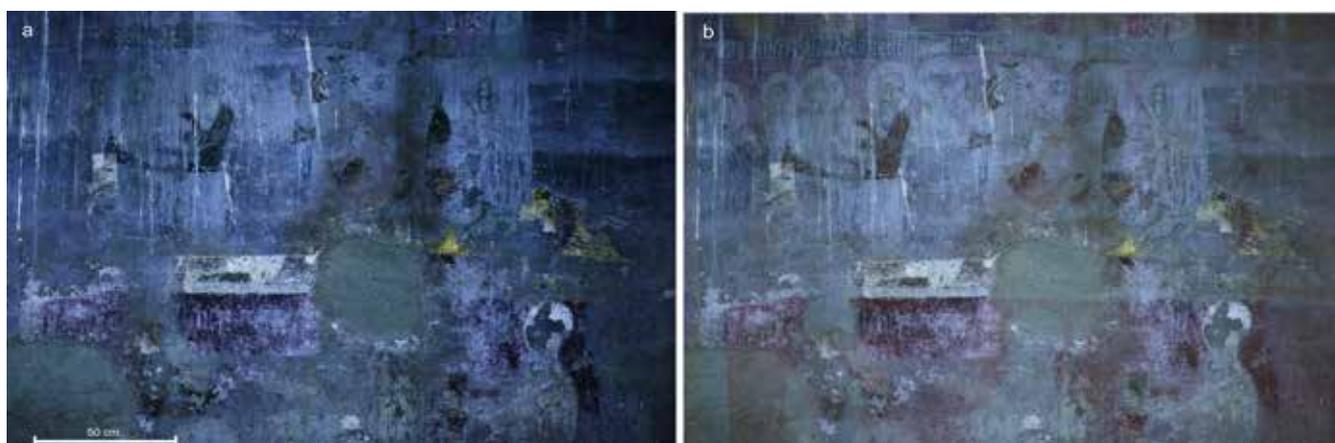
Durante la remoción del estrato pictórico que cubría las pinturas, en ocasiones se llegó a hacer un uso puntual de ciertas técnicas multibanda (esencialmente IR y UVL). Se trató siempre de imágenes parciales o de detalle, puesto que el sistema de andamiajes utilizado durante la campaña de restauración no era móvil e imposibilitaba la obtención de tomas generales. A tales imágenes se recurrió cuando existieron eventuales dudas en el proceso de remoción mecánica del estrato superficial [Figura 7].

Además, la mencionada lámpara de radiación UV filtrada, *Fabrizio*, fue usada constantemente como instrumento

de ayuda en las labores de limpieza. La diferencia entre este dispositivo y la mayoría de las lámparas UV del mercado radica en que esta incorpora un filtro de corte VIS-IR, por lo que no emite luz visible ni picos de radiación IR, permitiendo la correcta visualización de luminiscencias que de otra manera no podrían apreciarse (Cosentino 2015: 54). Este fenómeno, de hecho, ya ha sido convenientemente explicado y desarrollado en publicaciones específicas al respecto (Picollo *et al.* 2019), por lo que no nos detendremos en él, limitándonos a subrayar la conveniencia de que el ámbito de la conservación y restauración se usen estos tipos de fuentes de radiación adecuadamente filtradas, puesto que de lo contrario la contaminación parasitaria de luz visible y los picos emitidos de radiación IR mitigan la respuesta luminiscente de ciertos materiales (Wang 2020: 64). Así, gracias al uso continuado de esta lámpara se pudieron identificar, por una parte, eventuales luminiscencias de pigmentos y otros materiales subyacentes. En segundo lugar, por el antedicho fenómeno de contraste con el enlucido de cal, altamente luminiscente, se podían evidenciar los contornos y otros



**Figura 7.-** a) Fotografía VIS de un detalle de la Santa Cena durante el proceso de remoción de los estratos de cal que ocultaban la escena. b) El mismo detalle en fotografía IR. Obsérvese la mayor legibilidad de las partes oscuras y las líneas de contorno. c) Imagen del mismo detalle durante el proceso de reintegración cromática. La imagen IR sirvió para acometer de manera más precisa la remoción de los estratos de cal y entender mejor la morfología de las figuras de cara a su reintegración cromática.



**Figura 8.-** a) Fotografía UVL antes de la intervención (detalle de la escena de la Santa Cena). b) Imagen híbrida UVL-VIS durante el proceso de reintegración. En esta imagen híbrida se ha usado la UVL previa junto a la imagen visible (al 50% de opacidad) para controlar los procesos de limpieza y reintegración.

dibujos absorbentes en esta técnica (Herrero-Cortell *et al.* 2022; Artoni *et al.* 2022). En tercer lugar, se pudieron también evidenciar las zonas en las que aún quedaban restos del estrato de cal, controlando de manera mucho más precisa su total remoción.

Por último, las imágenes IR se utilizaron igualmente para buscar vestigios poco visibles de líneas de contorno, así como partes elaboradas con materiales absorbentes en la banda infrarroja, ayudando, al igual que las anteriores imágenes, a realizar una reintegración cromática más precisa [Figura 7]. A menudo se recurrió a confrontaciones de las imágenes UVL antes y durante el proceso de limpieza y recuperación de la escena, controlando así mejor la efectividad de la remoción de los estratos de cal y otras manchas o, incluso, el proceso de reintegración cromática [Figura 8].

—*Espectroscopía de reflectancia de fibra óptica y Microscopía superficial*

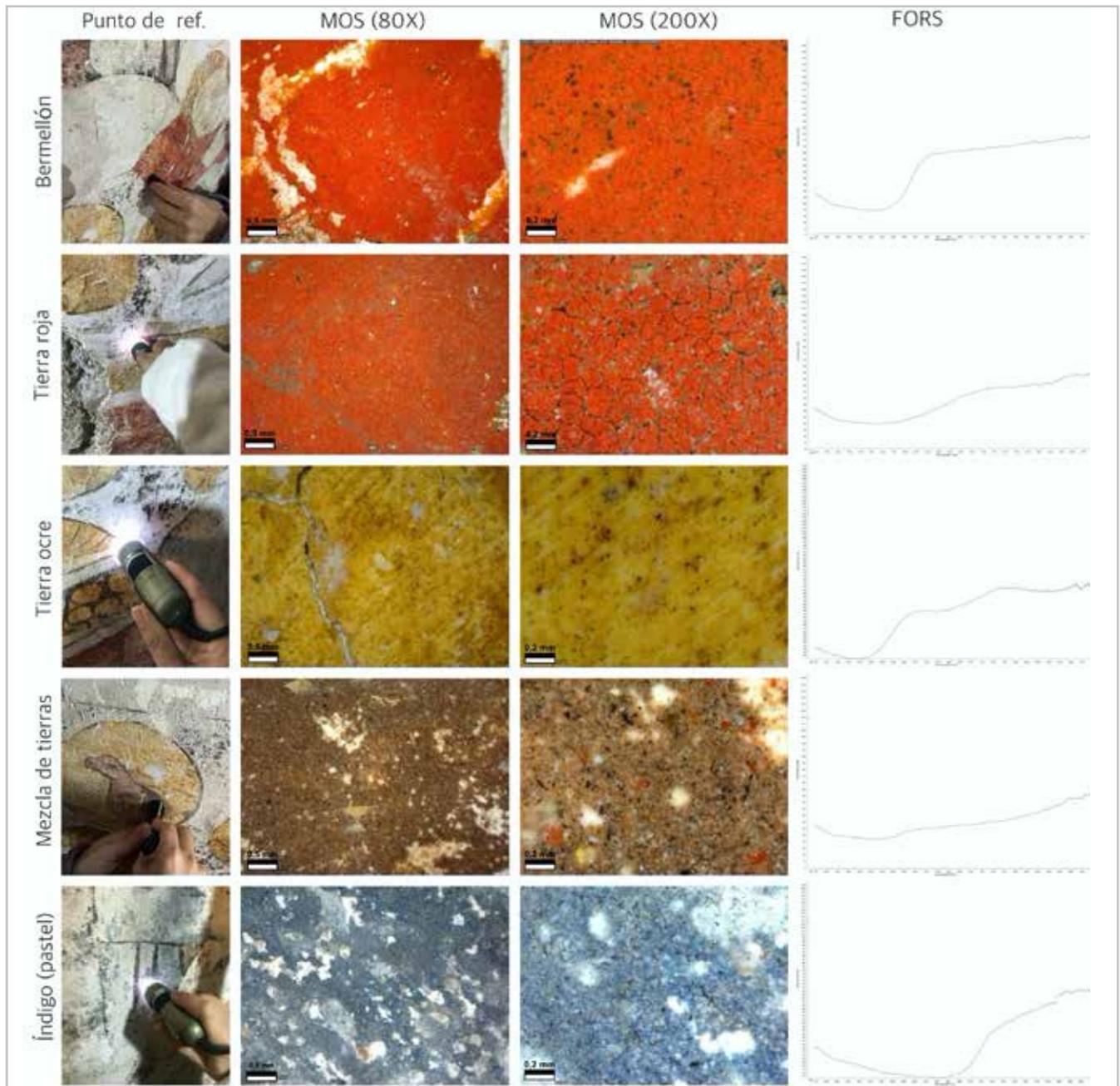
A medida en la que se iba avanzando en la intervención de recuperación de las pinturas, resultaron de gran utilidad la microscopía óptica superficial (MOS) y la espectroscopía de reflectancia de fibra óptica (FORS), especialmente en la localización de restos pictóricos en zonas muy deterioradas, la primera, y en la identificación de los materiales utilizados en el proceso de creación, la segunda. La microscopía sirvió, en primer lugar, para propósitos de caracterización conservativa, —al evidenciar el estado de compactación de la pintura, desvelando áreas craqueladas o de tendencia a la disgregación, manchas, pérdidas y otras patologías—. En segundo lugar, permitió también realizar una aproximación cualitativa de los materiales, pues consiente estudiar el tamaño, dispersión o distribución de las partículas pigmentarias. También permitió analizar a pequeña escala las variaciones en cuanto a la homogeneidad o heterogeneidad de las mismas y así contribuir a la caracterización realizada con otras técnicas.

No obstante, ambas técnicas se utilizaron conjuntamente, para poder abordar mejor un estudio de la paleta pictórica. De hecho, la espectroscopía FORS permitió una caracterización bastante fiable de la misma, desvelando el comportamiento espectral de los pigmentos empleados, que fueron puestos en relación con su apariencia microscópica [figura 9]. Pese a lo reducido de la paleta, pudieron identificarse diversos tipos de tierras (ocres, tierras y almagras), bermellón, negro carbón, y blanco de plomo. Especialmente interesante resultó la identificación de restos de un pigmento muy degradado a base de indigotina. Este tipo de colorante azul, muy probablemente procedente del pastel —habida cuenta de la economía de los materiales pictóricos escogidos—, fue ampliamente utilizado en pintura mural (Herrero-Cortell 2019a: 210-216; Rubio y Zalbidea 2019: 34). Así es muy posible que se tratase de un pigmento de procedencia local, puesto que durante el siglo XV el pastel se produjo ampliamente en

la vecina villa de Alcira (García 2017: 291), de la que, como advertíamos en la introducción, dependía la parroquia de Ternils (Gual 1983: 145). Obviamente, la elección de materiales como el blanco de plomo, el bermellón, o el índigo, resulta esclarecedora para entender que no se trata de una pintura mural al fresco, sino de una técnica a seco. Conviene recordar que, de hecho, durante el siglo XV en el área valenciana, con la salvedad de las pinturas del altar mayor de la Catedral de Valencia, —realizadas por los italianos Paolo da San Leocadio y Francesco Pagano entre 1472 y 1478 —, no se utiliza la técnica al fresco. En cambio, en los libros de obras y otros documentos, se registra de manera habitual para pinturas murales, el empleo de temple de cola o huevo, o incluso de aceites (Herrero-Cortell 2018: 30-59; Herrero-Cortell 2019a; Herrero-Cortell 2019b: 766-786), tal y como además corroboran los análisis químicos de aglutinantes de diversos conjuntos (Rubio y Zalbidea 2014: 81-91). La observación microscópica también corrobora la técnica al seco, tal y como se observa, por ejemplo, en la superficie cuarteada de la tierra roja a 200X [Figura 9] que, aun tratándose de un pigmento férrico, aparece aplicado en masa, en un medio aglutinante que se cuartea (probablemente clara de huevo). Esto mismo es claramente evidenciable en el resto de tierras y pigmentos, aplicados en superficie (véanse las partículas heterogéneas amarillas, rojas y pardas 200X) [Figura 9].

—*Imágenes multibanda tras la fase de restauración*

Al concluir la intervención restaurativa, se volvió a recurrir a las imágenes multibanda para documentar el resultado de la intervención a lo largo del espectro [figura 10b]. Concretamente se realizó la secuencia UVR – UVL – VIS – IR – IRFC [Figura 10a]. La imagen ultravioleta reflejada (UVR) consintió un registro del muro tras el proceso de limpieza, que permitía verificar que no existiesen alteraciones superficiales en forma de chorretones y goterones. Por su parte, la imagen de luminiscencia visible inducida por radiación ultravioleta (UVL) posibilitó un registro de las intervenciones de reintegración, la comprobación de la correcta limpieza de la superficie, y un mapeo de las respuestas luminiscentes de ciertos materiales. La imagen visible, por su parte, se limitaba a registrar fotográficamente el estado final de la intervención, mientras que la imagen infrarroja, permitió visualizar el dibujo de contorno y otros elementos con una mayor precisión. Por último, la imagen infrarroja de falso color se usó para mapear materiales en función de su respuesta cromática, permitiendo observar ciertas diferencias entre zonas de un mismo color en las que se habían usado pigmentos diferentes (como las partes pintadas en almagra y las partes en bermellón, —verdosas las primeras y amarillentas las segundas—, pero todas ellas de rojos tonalmente parecidos en la fotografía visible). La imagen IRFC consintió, además, una mejor visualización del dibujo con relación al color, así como un mapeo parcial de las intervenciones de reintegración cromática, al presentar estas respuestas tonales ligeramente diversas de las partes con policromía original.



**Figura 9.-** Tabla gráfica en la que se indican ciertos puntos analizados con microscopía, yuxtaponiéndolos a las imágenes de MOS y a los espectros FORS obtenidos de esos mismos puntos.



**Figura 10.-**a) *Santa Cena* de la Ermita de Ternils. Secuencia de imágenes multibanda, resultantes, tras la intervención. b) Aspecto final de la escena tras concluir la intervención.

## Conclusiones

A lo largo del presente artículo se han presentado los resultados obtenidos en una campaña de análisis no invasivos, mediante técnicas de imagen multibanda, aplicadas sobre unas pinturas murales del siglo XV, inicialmente ocultas y posteriormente descubiertas y restauradas. Así, se ha evidenciado la utilidad de estas técnicas en las diversas fases del proceso de reconocimiento y restauración: desde recuperación de las partes originales, limpieza, y reintegración cromática; hasta la documentación final.

Es conveniente recordar que las técnicas multibanda no generan 'imágenes mágicas', sino que son técnicas complejas que requieren un conocimiento profundo del equipo fotográfico que se debe de utilizar, así como de las condiciones experimentales y de la técnica pictórica que se estudia, para poder determinar las diferentes interacciones entre materiales. No existe una técnica de diagnóstico o de estudio que resulte perfecta, puesto que se dan una serie de variables (conservativas, procedimentales, materiales, de acceso, etc.) que pueden cambiar en función de cada obra. Por ello, resulta conveniente investigar y generar patrones y bases de documentación normalizadas, que favorezcan el desarrollo de una estandarización, especialmente en la creación de pautas o guías en el uso de la fotografía científica o multibanda, también en aplicaciones murales.

Obviamente, en la visualización de pinturas ocultas, como en este caso, factores como el grosor del estrato de cal que cubre las pinturas, así como su composición química, o la de los materiales subyacentes, pueden resultar determinantes a la hora de permitir o impedir su visualización. También la presencia de determinados pigmentos favorece su reconocimiento y mapeo en las diversas técnicas del protocolo multibanda. A veces, la naturaleza grasa de algunos elementos, pese a ser ya inexistentes (como los mencionados bullones) deja algún tipo de pista o evidencia. Así este tipo de elementos solamente pudieron ser evidenciados con técnicas multibanda, pues se registraban por efecto de radiación invisible sobre una capa que inmediatamente había de ser eliminada. Esto evidencia el valor documental de estas técnicas en fases anteriores a la intervención de conservación-restauración.

Por otra parte, el uso de diferentes filtros hace que las técnicas MBI sean más flexibles, al adaptarse a los requerimientos técnicos de cada caso de estudio, en función de los materiales constituyentes y otros factores. En el caso que nos ocupa, por ejemplo, se pudieron evidenciar resultados diferentes en la imagen IR en función del filtro que se utilizase su apertura espectral, lo que consintió, por ejemplo, mejorar la visualización de la escena bajo el estrato de cal que cubría el paramento en las fotografías preliminares.

Por otra parte, las diversas imágenes de reflexión, luminiscencia y falso color pueden ayudar a comprender mejor y mapear la localización de ciertos materiales y

patologías, y su disposición en el muro. Este resulta un paso fundamental para la selección de puntos de interés para investigaciones más detalladas, utilizando métodos más invasivos, cuando este se requiera, permitiendo una discriminación preliminar que ahorra acciones innecesarias.

El apoyo de las imágenes multibanda con técnicas adicionales no invasivas, como la espectroscopía FORS y la microscopía superficial, resulta fundamental para un conocimiento mucho más preciso de los materiales constitutivos de la obra, al tiempo que ambas sirven para la diagnosis de las patologías. El uso del espectrómetro ha permitido caracterizar la paleta pictórica, consintiendo también un discernimiento pigmentario que puede confrontarse posteriormente con los cambios cromáticos que registran los materiales en las diversas técnicas de imagen a lo largo del espectro. La observación microscópica de pigmentos, por su parte, ha podido revelar detalles como la morfología y tamaño de las partículas y su distribución, así como alteraciones y degradaciones.

El uso de protocolos no invasivos pone de manifiesto, una vez más, los resultados que estas técnicas son capaces de brindar en el estudio integral del patrimonio. En este caso, se evidencia su indiscutible funcionalidad en la documentación de pinturas ocultas, así como su potencial ayuda en las intervenciones conservativas y restaurativas. El empleo de este tipo de técnicas permite minimizar la cantidad de análisis invasivos, y optimizar su elección, así como la cantidad de muestras, para profundizar en el sucesivo análisis químico de la técnica pictórica. En última instancia, se favorece así un camino hacia el conocimiento holístico de la obra de arte, partiendo del respeto máximo hacia la misma.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a Aurora Rubio su altruismo y generosidad, al Dr. Joan Aliaga, del DCADHA de la UPV su disponibilidad en la realización de las primeras fotografías infrarrojas realizadas en la primera campaña de trabajo en 2020. También al Ajuntament de Carcaixent, en concreto a la Regidoria de Cultura y Patrimonio por la inversión económica realizada, que ha permitido acometer la restauración y el estudio de las pinturas murales de la ermita de Ternils. La restauración de las pinturas ha sido ejecutada por Andrés Ballesteros Labrado (Restauradores Pro Art SLU). Los resultados obtenidos se enmarcan en el Grupo de Investigación Consolidado de la Generalitat de Catalunya, SGR 2021-63, *Magistri Cataloniae & Mediterranei - Estudis artístics de la Mediterrània Medieval i la seua recepció*, así como en el proyecto: PID2020-120067GB-I00-*Manuscritos bizantinos iluminados en España: obra, contexto y materialidad* (2021-2024).

## Referencias

ALDROVANDI, A. & PICOLLO, M. (1999). *Metodi di documentazione e indagini non invasive sui dipinti*. Prato: Padova.

- APPOLONIA, L. (2019). "La diagnostica propedeutica alla rimozione degli scialbi" En *Il Colore Negato e il Colore Ritrovato. Storie e procedimenti di occultamento e descialbo delle pitture murali*. Danti, C. e Felici, A. (coord.). Firenze: Nardini Editori, 219-226.
- ARTONI, P. BERTELLI, P. HERRERO-CORTELL, M. A. & RAÏCH, M. (2022). *Les pintures murals del Torneig-batalla de Louvezerp, de Pisanello. Diagnosi artística, estudi de la tècnica i proposta interpretativa*. Lleida: Publicacions de la Universitat de Lleida. <https://repositori.udl.cat/items/0590847b-a6d5-40c0-bc0a-7e52ccdc5df>
- BRIDGMAN, C. F., & GIBSON, L. H. (1963). "Infrared Luminescence in the Photographic Examination of Paintings and Other Art Objects", *Studies in Conservation*, 8: 3, 77-83.
- BOULARAND, S. GUILLON, O. BAUCHAU, F. & VALLET, J. M. (2019). "Rediscovering lost decorations of 15th century wall paintings in the chapel of our lady of the fountains (La Brigue, France) by means of UV-VIS luminescence imaging". En *CONSERVATION 360°*. Picollo, M. Fuster-López, L. Stols-Witlox, M. (Coords.). Valencia: Editorial de la Universitat Politècnica de Valencia, 233-259 [https://monografias.editorial.upv.es/index.php/con\\_360/article/view/80/48](https://monografias.editorial.upv.es/index.php/con_360/article/view/80/48)
- CENNINI, C. (1988). *El libro del arte*. Madrid: Ediciones AKAL.
- COSENTINO, A. (2014). "Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method", *Heritage Science*, 2: 1, 1-12. <https://link.springer.com/article/10.1186/2050-7445-2-8>
- COSENTINO, A. (2015). "Practical notes on ultraviolet technical photography for art examination", *Conservar Património*, 21: 53-62. <https://www.redalyc.org/pdf/5136/513651366004.pdf>
- COSENTINO, A. (2016). "Infrared technical photography for art examination", *e-Preservation science*, 13: 1-6.
- COSENTINO, A. STOUT, S. DI MAURO, R. & PERONDI, C. (2014a) "The Crucifix Chapel of Aci Sant'Antonio: Newly Discovered Frescoes", *Archeomatica*, 2: 36-42.
- COSENTINO, A. GIL, M. RIBEIRO, M. & DI MAURO, R. (2014b). "Technical photography for mural paintings: the newly discovered frescoes in Aci Sant'Antonio (Sicily, Italy)", *Conservar Património*, 20: 23-33. <https://conservarpatrimonio.pt/issue/view/1249/204>
- COSENTINO, A. STOUT, S. & SCANDURRA, C. (2015). "Innovative imaging techniques for examination and documentation of mural paintings and historical graffiti in the catacombs of San Giovanni, Syracuse", *International Journal of Conservation Science*, 6: 1, 23-34.
- DARÀS i MAHIQUES, B. (2016). *La Mare de déu de la salut de Cogullada*, [https://www.carcaixent.es/sites/www.carcaixent.es/files/files/Cronista/Hist\\_religiosa/web\\_hisr\\_la\\_mare\\_de\\_deu\\_de\\_la\\_salut\\_de\\_cogullada.pdf](https://www.carcaixent.es/sites/www.carcaixent.es/files/files/Cronista/Hist_religiosa/web_hisr_la_mare_de_deu_de_la_salut_de_cogullada.pdf) [consulta: 5/07/2023].
- DE LA RIE, R. (1982). "Fluorescence of Paint and Varnish Layers" (Part I). *Studies in Conservation*, 27: 1-7; 65-69; 102-108.
- DENG, L. (2020). *Valutazione dell'uso di tecniche di imaging digitale tradizionali e iperspettrali per lo studio di superfici policrome*. Firenze: Università degli Studi di Firenze.
- DYER, J. VERRI, G. & AND CUPITT, J. (2013). *Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence Modes: A User Manual*. London: The British Museum.
- GARCÍA, J. V. (1998). "Producción y comercio de las plantas tintóreas en el País Valenciano bajomedieval". En *Ile Congrès International Pastel, indigo et autres teintures naturelles: passé, présent, futur*. (Toulouse, 1995), Arnstadt, Thüringer Chronik-Verlag, 283-317.
- GARCÍA, J. V. (2017). *Los colores del textil. Los tintes y el teñido de los paños en la Valencia medieval*. L'Histoire à la source: acter, compteur, enregistrer (Catalogne, Savoie, Italie, XIle-XVe siècle), edited by G. Castelnuovo, S. Victor, Université Savoie Mont Blanc: 283-315.
- GARÍN, F. M. (1971). "Templo protogótico de Ternils", *Archivo de Arte Valenciano*. 42: 8-10.
- GETTENS, R. J. FELLER, R. & CHASE, W.T. (1993). *Vermilion and Cinnabar. Artists' Pigments. A handbook of their history and characteristics*. Londres, Reino Unido: Archetype Publications. 2: 159-182.
- GETTENS, R.J. KÜHN, H. & CHASE, W.T. (1993). *Lead White. Artists' Pigments. A handbook of their history and characteristics*. Londres, Reino Unido: Archetype Publications. 2: 67-82.
- GRIFONI, E., BRIGANTI, L., MARRAS, L., ORSINI, S., COLOMBINI, M. P., LEGNAIOLI, S., PALLESCHI, V. (2015). The chemical-physical knowledge before the restoration: the case of "The Plague in Lucca", a masterpiece of Lorenzo Viani (1882–1936). *Heritage Science*, 3(1), 26. <http://doi.org/10.1186/s40494-015-0055-0>
- GUAL, J. M. (1983). El pastel en la España medieval: datos de producción, comercio y consumo de este colorante textil. *Miscelánea medieval murciana*, X: 133-165.
- HERRERO-CORTELL, M. Á. (2018) Las pinturas renacentistas del Altar Mayor de la Catedral de Valencia o la introducción de la técnica ad affresco en la Corona de Aragón; una lectura en clave material y procedimental. En: (Almansa, J.A. Martínez, N. eds.) *Pintura Mural en la Época Moderna. Entre Andalucía e Iberoamérica*, Universo Barroco Iberoamericano, Sevilla: Universidad de Jaén y Universidad Pablo de Olavide, 30-59.
- HERRERO-CORTELL, M. Á. RAÏCH, M. ARTONI, P. & SANCHIS, I. P. (2018). Multi-band technical imaging in the research of the execution of paintings. The case study of the portrait of Carlos IV, by Francisco de Goya. *Ge-Conservacion*, 14, 5-15. <https://doi.org/10.37558/gec.v14i1.583>

- HERRERO-CORTELL, M. Á. (2019a). *Procedimientos técnicos, soportes y materiales utilizados en los obradores pictóricos de la corona de Aragón (s. XV- XVI). Una aproximación a través del paradigma valenciano*. Lleida: Universitat de Lleida.
- HERRERO-CORTELL, M. Á. (2019b). 'No avie en lo Regne mestre en lo art d'affrescar'. Consideraciones técnicas sobre la introducción de la pintura al fresco en el Renacimiento Hispano y su impacto en las Coronas de Castilla y Aragón. En: *Vestir la Arquitectura*, Actas del CEHA. Burgos: Universidad de Burgos, 2019, 766-786.
- HERRERO-CORTELL, M. Á. RAÏCH, M. R. ARTONI, P ALIAGA J., PUIG, I. (2021). Observando a través de los estratos: fotografía infrarroja transmitida (IRT) aplicada al estudio técnico y documental de pinturas sobre lienzo. *Ge-Conservación*, 19(1), 62-73. <https://doi.org/10.37558/gec.v19i1.840>
- HERRERO-CORTELL, M. Á. RAÏCH, M. ARTONI, P. & MADRID, J. A. (2022). Caracterización de pigmentos históricos a través de técnicas de imagen, en diversas bandas del espectro electromagnético, *Ge-conservación*, 22: 58-75. <https://ge-iic.com/ojs/index.php/revista/article/view/1101>
- MAIRINGER, F. (2000). The ultraviolet and fluorescence study of paintings and manuscripts. *Radiation in Art and Archeometry*, 1: 56-75.
- MOON, T. SCHILLING, M. R. & THIRKETTLE, S. (1992). "A note on the use of false-color infrared photography in conservation". *Studies in Conservation*, 37: 42-52.
- PEREIRA UZAL, J. M. (2019). *Diagnóstico por imagen en bandas no visibles sobre patrimonio cultural: Una aproximación a la imagen infrarroja, ultravioleta, fluorescencias y análisis de imagen*, Madrid: Books on Demand.
- PICOLLO, M., STOLS-WITLOX, M., & FUSTER-LÓPEZ, L. (eds.) (2019). UV-Vis Luminescence imaging techniques/Técnicas de imagen de luminiscencia UV-Vis. Editorial Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/138517>
- POLDI, G. & VILLA, G. (2006). *Dalla conservazione alla storia dell'arte: riflettografia e analisi non invasive per lo studio dei dipinti*, Edizioni della Normale, Pisa: 3. <http://hdl.handle.net/10446/30524>
- RAHRIG, M. HERRERO-CORTELL, M. À. & LERMA, J. L. (2023). Multiband Photogrammetry and Hybrid Image Analysis for the Investigation of a Wall Painting by Paolo de San Leocadio and Francesco Pagano in the Cathedral of Valencia, *Sensors*, 23: 2301, 1-21. <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/4/2301>
- RORIMER, J.J. (1931). *Ultra-violet rays and their use in the examination of works of art*. New York: The Metropolitan Museum of Art.
- RUBIO, A. & ZALBIDEA, M. A. (2014). Estudio comparativo de materiales y técnicas en tres conjuntos de pintura mural del periodo gótico lineal en territorio valenciano. En *EMERGE 2014 Jornadas de Investigación Emergente en Conservación y Restauración de Patrimonio*. Vivancos, MV.; Domenech, MT.; Sánchez, M.; Osca, MJ. Editorial Universitat Politècnica de València, 81-91, <http://hdl.handle.net/10251/47276>
- RUBIO, A. (2015). La pintura mural gòtica lineal a territori valencià. Statu Quo del Corpus Conegut, Estudi i Anàlisi per la seua conservació. Tesis doctoral. <https://riunet.upv.es/handle/10251/59466?show=full>
- RUBIO A. & ZALBIDEA M. A. (2017a). "La Ermita de Sant Roc de Ternils, las pinturas murales góticas por descubrir. Carcaixent" En *II Congreso comarcal de arquitectura tradicional y patrimonio*. Valencia: General de ediciones de Arquitectura, 140-146.
- RUBIO, A. & ZALBIDEA, M. A. (2017b). "Estudio comparativo de la pintura mural gòtica valenciana a partir de elementos de estilo y materiales representativos" En *Glocal [codificar, mediar, transformar, vivir] III Congreso Internacional de Investigación en Artes Visuales*. Valencia: Universitat Politècnica de València, 720-730. <https://doi.org/10.4995/ANIAV.2017.5628>
- RUBIO, A. & ZALBIDEA, M. A. (2019). *La pintura mural gòtica a territori valencià*, Benicarló: Onada edicions.
- SERRA, A. (2007). La arquitectura de época medieval en la gobernación de Xàtiva. Catálogo de la *Llum de les Imatges de Xàtiva*. València: Generalitat Valenciana, 105-115.
- TORMO, E. (1929). De Madrid a Valencia: de las guías del Centro de España, inédita, y de Levante. Edición digital a partir del Bolletín de la Real Acadèmia de la Historia: 94, 399-440.
- WANG, Y. (2020). *Implementazione di sorgenti radiazione UV per tecnica di imaging di luminescenza UV per lo studio di dipinti*. Firenze: Università degli Studi di Firenze.
- WARDA, J. (2011). *The AIC guide to digital photography and conservation documentation*. Washington, DC: Foundation of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.
- ZARAGOZÁ, A. (1990). *Iglesias de arcos diafragma y armadura de madera en la arquitectura medieval valenciana*. Tesis doctoral, Valencia: Universitat Politècnica de València.

---

#### Autor/es



**Miquel Àngel Herrero-Cortell**

[miquel\\_herrero@hotmail.com](mailto:miquel_herrero@hotmail.com)

Universitat Politècnica de Valencia

<https://orcid.org/0000-0002-3855-9542>

Doctor en Historia del Arte; Máster en Producción Artística y Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Su investigación se liga especialmente a las técnicas, procedimientos y materiales de la pintura y a la diagnosis artística con técnicas de imagen. En la actualidad desempeña su labor docente como profesor de Historia del Arte en la Universitat Politècnica de Valencia.



**María Antonia Zalbidea Muñoz**  
[manzalmu@crbc.upv.es](mailto:manzalmu@crbc.upv.es)  
Universitat Politècnica de València  
<https://orcid.org/0000-0003-2159-3215>

Doctora en Bellas Artes. Especialidad de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Profesora Titular del Dept. Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Universitat Politècnica de València. Desde 2022 forma parte del MAGISTRI CATALONIAE & MEDITERRANEI- Estudis artístics de la Mediterrània Medieval i la seva recepció/ MACMED. Grupo de investigación consolidado (SGR 2021-63) de la Universitat Autònoma de Barcelona, adscrito al Departament d'Art i Musicologia de la UAB.

---

Artículo enviado 08/08/2023  
Artículo aceptado el 07/04/2024



<https://doi.org/10.37558/gec.v25i1.1250>

# Incidence of environmental factors on travertine façade of heritage buildings in the historic center of Cuenca-Ecuador. A test scenario through Digital Imagen Processing

María del Cisne Aguirre Ullauri, Javier Bernardo Cabrera Mejía, Carlos Ernesto Guerrero Granda, Michelle López Suscal

**Abstract:** The problem of architectural heritage conservation in a consolidated historic urban context is of worldwide relevance. In Ecuador, and specifically in Cuenca, there are no specific approaches to evaluate the environmental impact on the heritage deterioration, therefore, an alternative diagnostic of travertine facades is proposed to define the levels of deterioration based on climatic factors through a case study. Two research stages are developed; 1) preliminary diagnosis of the architectural, environmental and anthropic components, using architectural cards and Leopold's Multivariable Matrix; and 2) quasi-experimental analysis with a mixed approach (quantitative and qualitative) based on real-time data collection of potential environmental variables to generate deterioration, which focuses on image processing. This technique is gaining momentum because it offers the possibility of studying the characteristics of surfaces through a non-invasive procedure. This paper describes the application of the Normalized Difference Vegetation Index (NVDI) algorithm applied to RGB images known as False-NVDI in order to obtain the deterioration caused by the incidence of environmental factors on the travertine facades. In particular, images of two buildings belonging to the Historic Center of the City of Cuenca were used. The results indicate that this technique has a great potential to determine three levels of deterioration; good, fair and bad. At the same time, it is confirmed that the proposed methodology is an effective and low-cost tool with high potential for short-term application in previous studies and more extensive research prior to intervention.

**Keywords:** environmental incidence, digital image processing, heritage buildings, heritage deterioration, state of conservation, NVDI

## Incidencia de factores ambientales en fachadas de travertino de edificios patrimoniales del centro histórico de Cuenca-Ecuador. Un escenario de prueba mediante el Procesamiento Digital de Imágenes

**Resumen:** El problema de la conservación del patrimonio arquitectónico en un contexto urbano histórico consolidado es de relevancia mundial. En Ecuador, y específicamente en Cuenca, no existen enfoques específicos para evaluar la incidencia medioambiental en el deterioro patrimonial, por ello, se propone una alternativa de diagnóstico para definir los niveles de deterioro en fachadas de travertino en función de factores climáticos a través del estudio de caso. Se desarrollan dos etapas de investigación; 1) diagnóstico preliminar de los componentes arquitectónico, ambiental y antrópico, utilizando fichas arquitectónicas y la Matriz Multivariable de Leopold; y 2) análisis cuasi-experimental con enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo) basado en la recolección de datos en tiempo real de las variables ambientales potenciales para generar deterioro, el cual se enfoca en el procesamiento de imágenes. Esta técnica en particular está tomando fuerza ya que ofrece la posibilidad de estudiar las características de las superficies a través de un procedimiento no invasivo. En este artículo se describe la aplicación del algoritmo Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NVDI) aplicado en imágenes RGB conocido como Falso-NVDI con el fin de obtener el deterioro causado por la incidencia de factores ambientales en fachadas patrimoniales de travertino. En particular, se utilizaron imágenes de dos edificaciones pertenecientes al Centro Histórico de la ciudad de Cuenca. Los resultados indican que una técnica con un gran potencial que permite determinar tres niveles de deterioro; bueno, regular y malo. A su vez, se confirma que la metodología planteada es una herramienta efectiva y de bajo coste con alto potencial para aplicación a corto plazo en estudios previos e investigaciones más amplias antes de la intervención.

**Palabras clave:** incidencia ambiental, procesamiento de imágenes digitales, edificios patrimoniales, deterioro patrimonial, estado de conservación, NVDI

## Incidência de fatores ambientais na fachada de travertino de edifícios patrimoniais no centro histórico de Cuenca-Ecuador. Um cenário de teste através do Processamento Digital de Imagens

**Resumo:** O problema da conservação do patrimônio arquitetônico num contexto urbano histórico consolidado é de relevância mundial. No Ecuador, e especificamente em Cuenca, não existem abordagens específicas para avaliar a incidência ambiental na deterioração patrimonial,

portanto, propõe-se uma alternativa de diagnóstico para definir os níveis de deterioração nas fachadas de travertino, em função de fatores climáticos, através de um estudo de caso. São desenvolvidas duas etapas de pesquisa: 1) diagnóstico preliminar dos componentes arquitetônico, ambiental e antrópico, utilizando fichas arquitetônicas e a Matriz Multivariável de Leopold; e 2) análise quase-experimental com uma abordagem mista (quantitativa e qualitativa) baseada na recolha de dados em tempo real das variáveis ambientais potenciais para gerar deterioração, focando-se no processamento de imagens. Esta técnica em particular está a ganhar força, pois oferece a possibilidade de estudar as características das superfícies através de um procedimento não invasivo. Neste artigo, descreve-se a aplicação do algoritmo Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NVDI) aplicado em imagens RGB conhecido como Falso-NVDI para obter a deterioração causada pela incidência de fatores ambientais nas fachadas patrimoniais de travertino. Em particular, foram utilizadas imagens de dois edifícios pertencentes ao Centro Histórico da cidade de Cuenca. Os resultados indicam que é uma técnica com grande potencial que permite determinar três níveis de deterioração: bom, regular e mau. Por sua vez, confirma-se que a metodologia proposta é uma ferramenta eficaz e de baixo custo com alto potencial para aplicação a curto prazo em estudos preliminares e investigações mais amplas antes da intervenção.

**Palavras-chave:** incidência ambiental, processamento de imagens digitais, edifícios patrimoniais, deterioração patrimonial, estado de conservação, NVDI

---

## Introduction

The evaluation of the state of conservation of a monument, building or work of art is one of the most important aspects in the conservation of heritage, the application of non-invasive techniques to detect the state of the same are key elements when it is not possible to physically access the resource. In Latin America, since the middle of the twentieth century, an arduous task has been undertaken to ensure that State policies introduce the concept of conservation and rehabilitation of historic centers. This work, which began with the physical-spatial delimitation (Carrión 2001), today brings together the joint efforts of civil society, municipal governments, and academia. The results are significant, and optimism for the future is even greater. So much so that there are 31 historic centers declared as Cultural Heritage of Humanity for their architectural, artistic, social, and historical value (Carrión 2001), that is, for their Outstanding Universal Value (OUV). However, the policies' elaboration and application by returning un-touchable monuments to buildings with value are neither enough to achieve adequate conservation nor promote social development.

Thus, the entrenchment of the conservationist concept entails the severe risk of turning historic cities into cold, empty, indifferent museums, lacking vitality, displacing the inhabitants and their productive activities (Carrión 2001). In contrast, the historic center should be understood as a public space par excellence and, therefore, an element around which the city is articulated, making it, above all, a major urban project (Carrión 2005). In this sense, the problem of their conservation and management has become the focus of debates and discussions of current urban policies. Three facts impact: 1) the deterioration of the historic areas of the cities, 2) the formation of awareness about the conservation of historic-cultural centers that almost always modify urban agendas and, 3) urbanization tendencies (Carrión 2020). In other words, the need for appropriate technical responses for its conservation is ratified, despite the evident building renovation (Mutal 2003) that it is experiencing worldwide and that even falls into the so-called urban vandalism (Carrión 2005).

When they added the Historical Center of Cuenca (HCC) to the World Heritage List (WHL), it was agreed to comply with a series of guidelines for its conservation and care,

framed in the 1972 Convention on the Protection of the World Cultural and Natural Heritage, which has been developed with ups and downs. The most relevant issues, such as stopping and treating the deterioration of its real estate, have not been considered beyond the abandonment and associated negligence and the implementation of the legal and administrative measures in force. In other words, the applicability of scientific, technical, and financial measures capable of protecting, conserving, enhancing, and rehabilitating the heritage is not guaranteed (UNESCO 1972). Despite this, at least in the last two decades, it is recognized that the deterioration of the architectural heritage is associated with urban dynamics such as inefficient transportation and other polluting emissions.

The most forceful reference goes back to 1998 in the context of the declaration of Cultural Heritage of Humanity, it indicates that one of the most severe problems of the HCC is the environmental pollution and abundant rainfall, especially between January and May (Municipio de Cuenca and Universidad de Cuenca 2017). At the same time, the drastic reduction of the number of problems through the renewal of the public vehicle fleet remains a pending task. As an iconic example, the Cuatro Rios Tramway in Cuenca planned to transport 65 thousand passengers per day (PNUD and UNOPS 2017) has barely reached 10 thousand on average, before a 2.5 month of free of charge. That is, the adaptation of the system and the citizen still present difficulties that lead to permanent emissions with increasingly significant effects.

On the other hand, faced with the difficulty of implementing structural measures, the vulnerability and risk of environmental and anthropic architectural heritage increases in the most exposed elements, such as facades more and more frequently (Perez-Monserrat *et al.* 2016). In polluted urban areas such as Venice, Florence, Athens, among others, but also as HCC, building materials tend to darken due to the accumulation of pollutants, present black crusts as a result of damage or loss of matter, sulfation, moisture, oxidation and other types of deterioration (Hambrecht and Rockman 2017), which over time form strata without historical relevance. Therein lies the importance of considering the external environment as much as the internal one in the deterioration of the assets and in the search for alternatives for their conservation.

In the first scenario, the most common, other experiences of interest are the studies developed by Žarnić, Rajčić and Moropoulou (2012) regarding the implementation of the EU Project European Cultural Heritage Identity Card to expose that, the interaction and joint action of environmental factors generate a great impact on cultural heritage in the long term. In other words, increasingly comprehensive studies allow tuning environmental requirements on architectural envelopes at first, and then on the integrity of heritage assets to perform compatible actions and the generation of a data structure (EU CHIC Iceberg) containing is relevant to cultural heritage (Žarnić Rajčić and Moropoulou 2012).

Against this background, in cities, what is considered heritage is facing increasing problems. Thus, risk and vulnerability assessment has rapidly become a global priority (Aguirre Ullauri *et al.* 2019; Ortiz *et al.* 2014). Research by Campiani *et al.* (2019), Ortiz and Ortiz (2016), Ortiz *et al.* (2014) or Galán Huertos, Bernabé González and Ávila Ruiz (2006) confirms the direct impact of environmental and anthropic variables on conservation at the individual and territorial scale. Furthermore, the positioning of valuation methods such as The ABC Method: a risk management approach to the preservation cultural heritage (Purdy 2010), which uses the ISO 31 000 (2009) standard (Purdy 2010), confirms the importance of risk assessment considering the context and types of risks in order to make appropriate decisions and effectively conserve heritage.

The previous problems are not foreign to HCC, Argudo *et al.* (2015), Rueda (2014) and Arizaga (2012), who from different professional levels and legal competencies, position the need to identify injuries in significant architectural elements and components, risk assessment and vulnerability as heritage conservation resources, despite not being a priority of application in national public policy (Aguirre Ullauri 2021). Through frequency instruments, derived from inventories, it has not been possible to generate progress, but some local research allows progress, such as the use of image processing techniques and data collection with digital tools that have been applied to evaluate conservation at the urban level based on heritage values and the required long-term control (Heras, Briones and Sinchi 2018). Another proposal includes the application of the supervised classification method called Support Vector Machines (SVM) to determine the heritage elements to monitor at a territorial scale (Heras *et al.* 2019). As is clear, there is no systematized tool that allows diagnosing the state of conservation of heritage real estate continuously, but rather generic actions for its control.

In this context, this work aims to evaluate the suitability of using the NDVI theory applied on an RGB image as a low-cost tool to assess the condition of the facades of heritage buildings, in conjunction with other technical inputs. The NDVI is calculated from the combination of red and infrared spectral bands of an image, which provides a quantitative

measure of the health of vegetation in an area, in an RGB image, these bands are assigned to the red, green and blue channels, respectively, which allows to visualize the NDVI along with the basic visual information of the image showing tonality according to the state of the facade being able to identify and monitor possible damage.

Nowadays, the use of digital image processing to evaluate the state of conservation is a real option as a popular option, with the same can identify various aspects such as pigments, repairs, cracks, etc. Multispectral imaging has become very important due to its portability and ease of use, but their use is limited due to their cost (Cosentino 2015; Del Pozo *et al.* 2017; Meroño *et al.* 2015; Valença *et al.* 2013). Thus, the present research promotes the systematization of a low-cost route for the automated diagnosis of pathological damages and their state of conservation on the façade of the HCC's heritage assets. It also seeks to demonstrate in an agile way the relationship between the deterioration of travertine facades in heritage buildings through the proposed tool, as a case study; this is relevant, since usually this affectation goes unnoticed due to the geological nature of the material and its wide variation. Therefore, it is desirable to apply an image-based method for damage assessment, which also covers inaccessible parts of the building surface. It should also provide data for further analysis and classification of the existing damages; this approach offers good preconditions for an automation of damage detection. Thus, due to its technological vocation, it is a practical tool for professionals and citizens. In addition, it intends to offer a feasible technical vision whose implementation is expected in the short term.

### **Background: Historical Center of Cuenca, dynamics, and state of conservation of architectural heritage**

Cuenca is a city that, throughout its history, has had a remarkable growth that impresses from any point of view. It combines the Cañari, Inca, Hispanic and Republican influences, and the inscription of the HCC in the WHL responds to this architectural, cultural, and natural richness. The criteria established by UNESCO for such designation in 1999 focus on the successful implementation of checkerboard cities and their harmonious articulation with the ecosystem as an outstanding representation of the Spanish colonial city *entroterra* (Municipio de Cuenca and Universidad de Cuenca 2017). In other words, there is a sort of balance between the environment and its actors, which has been progressively transforming and reporting negative impacts. That is, either by the loss of native forests, the mutilation of the habitat immediately surrounding the HCC, the disrespect of the natural vocation (Mannoni 2006) and the pre-Hispanic cosmovision (Alulema Pichasaca 2018), or in contemporary settings, the ever-increasing emissions of the automobile fleet (EMOV EP 2021).

Long before being aware of these alterations from the first moments of occupation, although to a greater extent since the foundation, there has been the successful fusion

of different societies and cultures. Therefore, they have externalized their identities through architecture and significant urban context and landscape nuances. This intermingling exposes sumptuous colonial buildings, such as the Monastery of the Conception and Carmen de la Asuncion, tiny adobe houses covered with tile, typical of the vernacular building tradition of the Ecuadorian Austro, portentous buildings of the Republican period (Municipio de Cuenca and Universidad de Cuenca 2017) and even national references of architectural modernity, such as the Teatro Casa de la Cultura or the Municipal Palace. That is to say, architecture as a human manifestation has been influenced by social, cultural, and economic events of each era, which in turn has demanded the development of a vital capacity for adaptation.

A crucial factor in the morphology of the city of Cuenca in terms of architecture has been the natural topographic layout in the form of terraces; three are recognizable in the immediate context, although it is possible to identify others. The highest one is located in the north of the city; the intermediate one is in the center and houses the HCC, and the last one is in the lower part on the south bank of the Tomebamba River. The last one also receives the name of El Ejido and has historically been a point of communication with the surrounding parishes (Minchala 2019).

In the extent of such terraces, urbanization and modernization have been subject to a political transition. Therefore, the bonanza of the export of cascarilla plant and toquilla straw as a catalyst for implementing the French Neoclassical and other events such as intellectual production or the insertion of technical instruments of administration and urban planning (Aguirre Ullauri *et al.* 2018). It is also known that the financial excess and foreign cultural influence led to the architectural transformations through the elite from Cuenca. They also financed the new architecture to project the fashion of the world's great cities (Aguirre Ullauri, Sanz and Vela 2018). Correspondingly, over the years, the implementation of materials and construction systems in HCC buildings have been amalgamated while still evidencing alterations in construction customs and structures in general (Roura Burbano and Ochoa Arias 2014). Despite these possible detriments, the coexistence of forms, styles, typologies, and construction practices are primarily favorable. In such a way, the application of materials remains in people's memory despite changes, assuming a form of attachment to the OUV of HCC, but also enhances social construction and generates an understanding of those elements that hold collective meaning (Roura Burbano and Ochoa Arias 2014).

On the other hand, and aware of this historical reality (Gallardy 2014; Revelo 2011), there is a growing concern to find the causes that provoke the sometimes-accelerated deterioration of buildings with heritage values, and by extension, of the urban image and landscape. This image is associated with the group of façades that make up the block and constitute the fundamental protective layer

against the incidence of aggressive agents present in the environment (Hernández 1997; Revelo 2011), climatic elements, and human beings.

Air pollution is one of the parameters that has had much relevance in recent years due to the particles present in it, which represent a high risk to health, among the components that affect the quality of it are Ozone (O<sub>3</sub>), Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>), Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>), Carbon Monoxide (CO), Particulate Matter less than 10 microns (PM<sub>10</sub>) and Particulate Matter less than 2.5 microns (PM<sub>2.5</sub>), Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>), Carbon Monoxide (CO), Particulate Matter smaller than 10 microns (PM<sub>10</sub>) and Particulate Matter smaller than 2.5 microns (PM<sub>2.5</sub>), most of which come from the incomplete combustion of fossil fuels, mostly from the automobile fleet. According to data provided by EMOV EP (2021), PM<sub>2.5</sub> air quality levels in Cuenca are within the Ecuadorian national standard (FAOLEX 2015.) but outside the limits established by the World Health Organization (WHO) in 2005 and with its subsequent update in 2021 (WHO 2005; 2021). This has led the city to implement policies to reduce pollution, the best known of which is the technical vehicle inspection, which began in 2008. By the year 2020, the number of vehicles has multiplied exponentially and, although they pass the review, they emit pollutants into the HCC ecosystem, according to the Mobility Plan report which details that the streets of the historic center circulate between 10,000 to 20,000 vehicles per day (DGM 2015). In other words, the approach was born and maintained within the framework of health conservation without articulation with heritage. The same is true for other examples, such as the effects of climate change. It will lead to thermal increases such as heat islands in historic cities in Latin America and the Caribbean (Markham, *et al.* 2016), capable of causing general damage to materials (Bustamante Campoverde 2021).

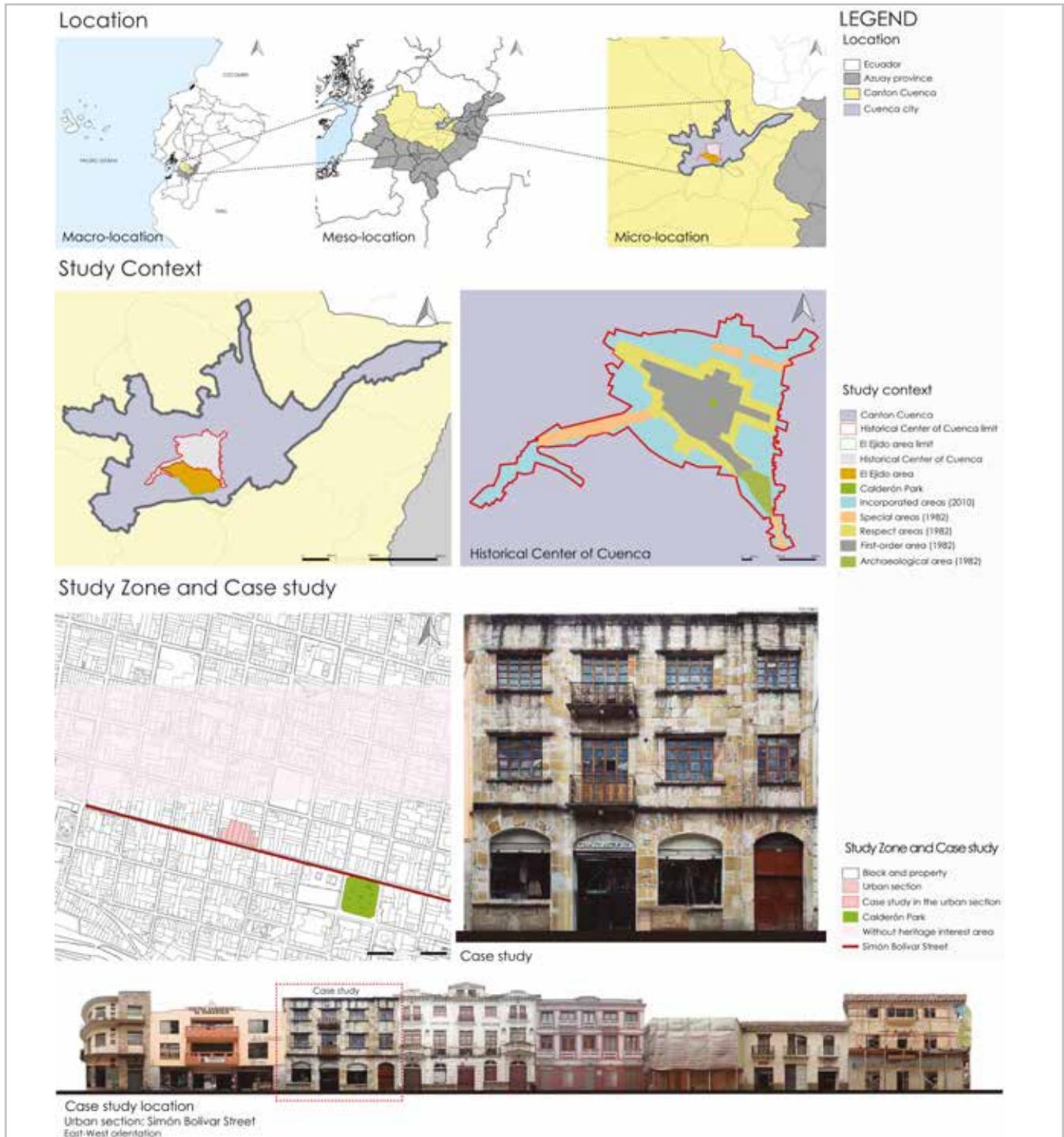
In this scenario, although there is a framework of knowledge of environmental deterioration and physical recovery of the architectural heritage, research on pathological damages associated with the characteristic materials of the HCC architecture is incipiently developed. The approach remains in the qualitative denominations of good, regular, and bad, limiting the proper formulation of a prior judgment and consequent practical actions.

## Methodology

This research has several approaches and therefore includes a set of processes associated with the three fundamental pillars described below.

*a) Preliminary evaluation of a case study [Figure 1] is based on the collection of information in the field regarding pathological damages of the materials of the front face or façade*

As a starting point, we consider the case of a heritage building located in an emblematic road artery of the HCC,



**Figure 1.-** Test case study and its context.

such as Simón Bolívar Street, according to coordinates 721502.64; 9679747.9157 and 721490.43; 9679696.8338. In addition, the property belongs to the category Architectural Value B (VARB) (2) [Figure 1]. That is, to those buildings whose role is to consolidate a coherent fabric with the aesthetics of the city or the area in which they are located and may be enriched by historical attributes or essential meanings for the local community. From the point of view of their spatial organization, they expressways of life that reflect the community's culture and use of space (Consejo Cantonal de Cuenca 2010).

In architectural terms, it is a four-story property whose façade faces south, with a slight slope to the west. The constituent material of heritage interest is yellow travertine (A18); however, there are other materials such as lime, sand, and cement mortar (A10), handmade glass (A6), cement mortar (A9), earth mortar (A8), and wood (A12 and A13). These materials report a diversity of pathological damages. According to previous studies, there are significant incidences, that is, the environment and human action generate moderate effects in the conventional range of the Leopold Multivariable Matrix.

In addition, it is inserted in a road axis whose level of incidence is also moderate and reflects the general urban and productive condition of the roads in an east-west direction.

In urban terms, under considerations of the selected test case, the analysis focuses on the HCC First Order Area, which was described as such after the Declaration of National Heritage in 1982 and ratified through the Declaration of Cultural Heritage of Humanity in 1999. In other words, the selection of the pilot case and its location is based on the intrinsic characteristics of the building, its heritage value, and proximity to significant areas within the perimeter of the First Order Area, whose radius of influence covers approximately 50% of the HCC. Thus, the comparative case maintains similar conditions to the pilot case, despite the distance and location conditions, so the analysis and results are consistent.

*b) Study of environmental variables based on a quasi-experimental analysis with a mixed approach (quantitative and qualitative)*

Field data collection is contemplated. That is, real-time readings of the environmental variables could cause deterioration in the building, such as atmospheric pressure, precipitation, relative humidity, diffuse solar radiation, global solar radiation, ambient temperature, wind direction, gust, and wind speed. The meteorological data was taken every hour, during the months of March-May 2021, it was installed in a nearby building, obtaining more precise data that reflects the conditions faced by the building studied. Meteorological data is taken every hour, the three months it changes from summer to winter, to see the environmental characteristics in those crucial months. Finally, the average for the simulation processes is obtained in one month, the station has the following characteristics: Ane-mometer (accuracy +/- 5%, resolution 1 m/s), Temperature (Outstanding Uni-versal Value accuracy +/- 0.1°C, Resolution 0.1°C), Humidity

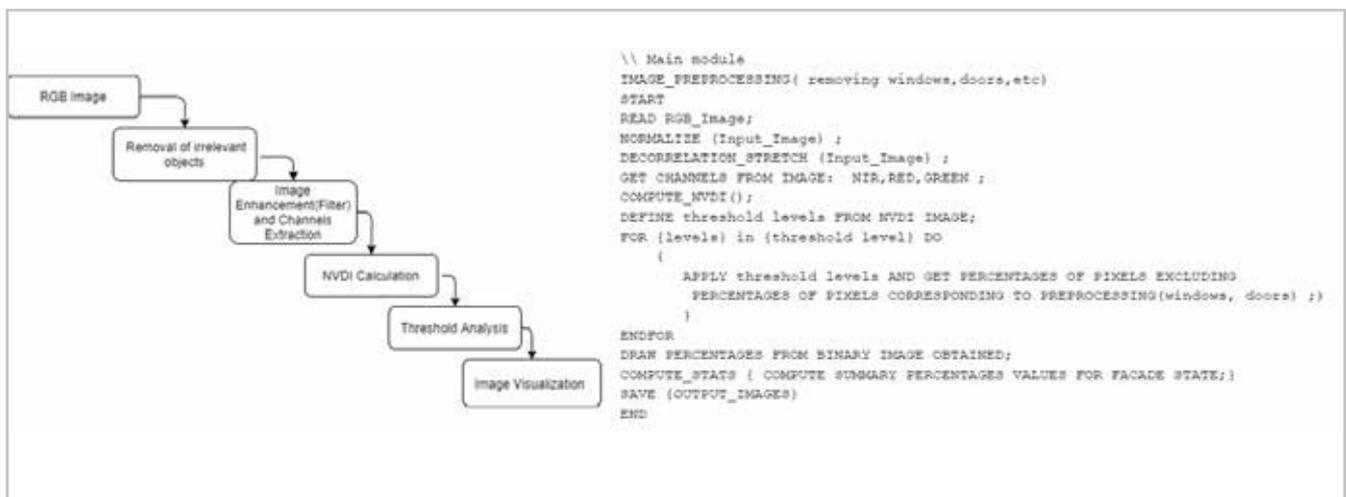
(accuracy +/- 2% RH, resolution 1% RH), Barometric Pressure (accuracy +/- 0.5hPa, resolution 1 hPa), Precipitation (accuracy +/- 2%, resolution 0.254 mm/h), as well as a pyranometer (accuracy +/- 5%, sensitivity 280-2800nm). Also, an air quality report was obtained from EMOV EP (2021) for the months in which the study was carried out.

*c) Digital Image Processing*

The use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), which is widely used around the world in vegetation applications, has been proposed to perform image processing. This index takes advantage of the contrast of the characteristics of two bands of a multispectral dataset: in vegetation, green leaves usually present a better reflection in the near-infrared wavelength range than in the visible wavelength range. When leaves are diseased or dead, they become more yellow and reflect significantly less in the near-infrared wavelength range (Kim, Jung and Seo 2016). In this paper, the NDVI theory is applied to RGB (red, green and blue) images to obtain the state of the facade material by analyzing the reflectance in the image. The diagram in Figure 2 indicates the process used to obtain the different characteristics of the facade using the Matlab software (Kazemi & Ghanbari Parmehr 2023; Suárez et al. 2021).

As the first step, many image elements are removed, like windows, doors, and other reflectance elements that cause inconsistencies during processing. Then, it is necessary to apply the decorrelation filter to make an improvement in the colors scale on the image and perform the separation of colors in a better way, obtaining a false-color infrared composite image (False CIR) because is obtained from RGB image and not from a multispectral image (Ammaiappan & Manoharan 2012; Miller 2024).

Then, the color components of the false CIR image are extracted, specifically the near-infrared band (NIR) and



**Figure 2.-** Flowchart and Pseudo-code of image processing in Matlab.

the red color band to perform the analysis, then the formula of NDVI is applied as shown in equation (1) to the image and with the help of the false CIR image we proceed to apply the umbral. As a result, the material in good condition is shown in red, the material with severe damage is shown in green, and the material in fair condition is shown in yellow (Hemmler *et al.*, 2005; 2006).

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (1)$$

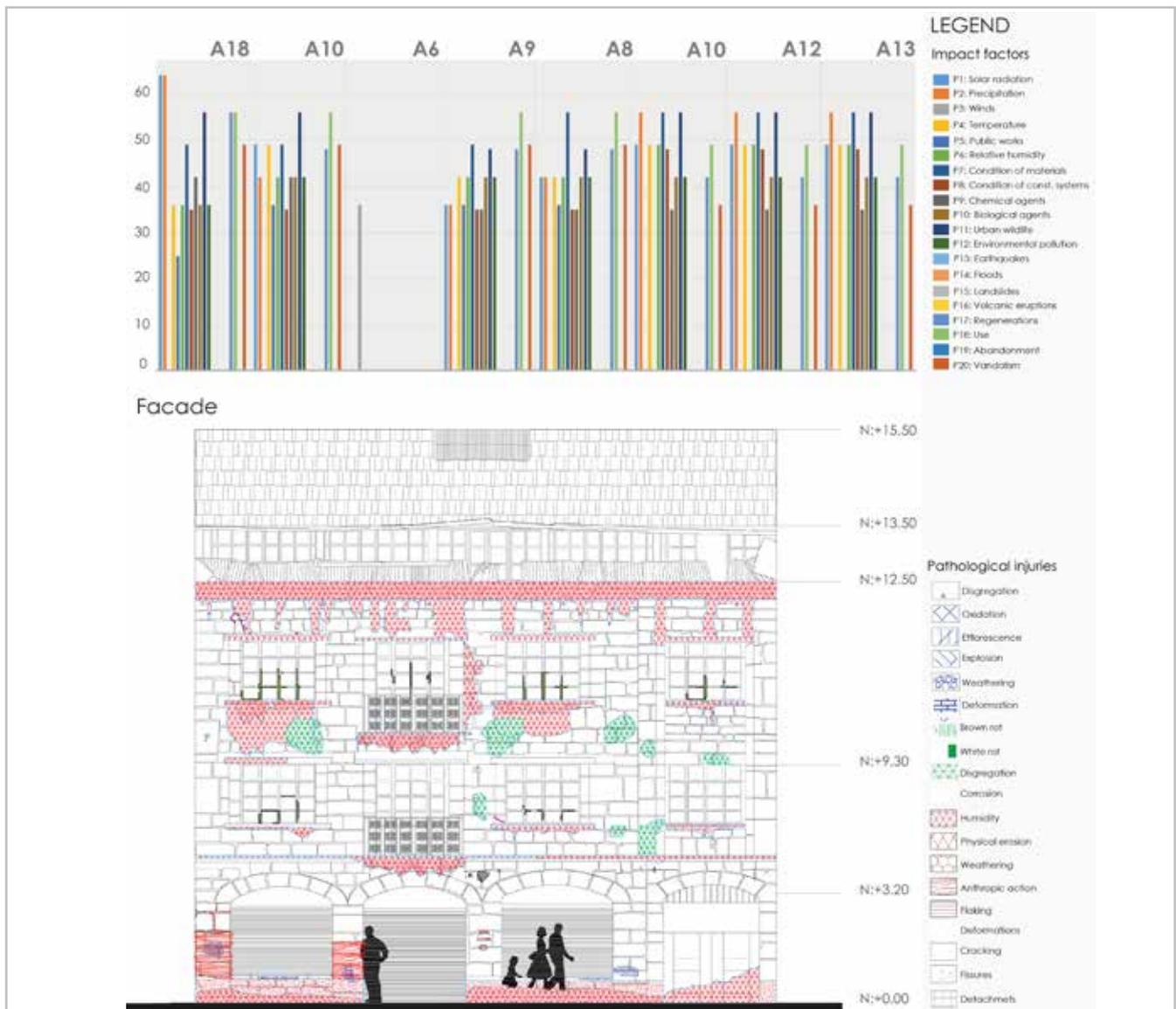
It is important to emphasize that when the NDVI formula is applied, the pixels take values from -1 to 1. So, different thresholds are applied per observation to obtain pixels that match the different conditions of the architectural material (Huang *et al.* 2021). Also, as the calculation was made with an RGB image, the NDVI image obtained is known as false NDVI, so for the rest of the document, when mentioning the NDVI image, it will be referring to the false NDVI image.

## Results and Discussion

### a) Architectural diagnosis

The heritage building presents different pathological processes; that is, there is increasing damage at different levels. The primarily identified injuries are humidity, graffiti or drawings (including marks, stripes, and other similar anthropogenic actions), small detachments of material in scattered areas, and dirt by deposit.

This pathological chart includes exhaustively [Figure 3]; 1) loss of cohesion in joints, which describes a decrease in the binding capacity of existing mortars (A10 y A8); also accentuates the mobility channels and water stagnation, 2) high porosity of the predominant stone material (A18), 3) constructive discontinuities (A18) and possible changes in the material (A12 y A13), 4) predominance of rough surfaces (A18) that promote the accumulation of suspended particles which causes hints of exterior water stains on the cornice, sills, and discontinuities



**Figure 3.-** Synthesis of the state of conservation: materials and associated damages.

(change of masonry), that is depositional fouling, 5) lack of consolidation surface treatment (A18) for areas in which advertising elements have been inserted, and 6) lack of citizen empowerment resulting in physical aggressions. Likewise, it is also associated with the extrinsic or physical features of the place of location, such as the rainfall, insolation, pollution, relative humidity, and others, which are later detailed.

It is, then, established that there is significant damage, even more advanced than the moderate initial assessment, which could also be found in any other building in the HCC. In fact, it is well known that by the end of the year 2021, 170 damaged patrimonial assets were identified; 85.29% were in bad condition, and 12.35% were in ruins (Sánchez Mendieta 2021), which evidences a high level of deterioration in heritage buildings in general. If the intrinsic conditions (constructive materials and systems) and the extrinsic conditions (environment and context) meet, quick damage on the façade of the patrimonial asset is possible, also having in mind that this damage could be extrapolated to the whole building. This scenario is of interest due to the abundant use of local travertine since at least the late 19th century; that is, several heritage buildings in the HCC could exhibit similar deterioration regardless of their style, typology or form, as material and surrounding conditions converge.

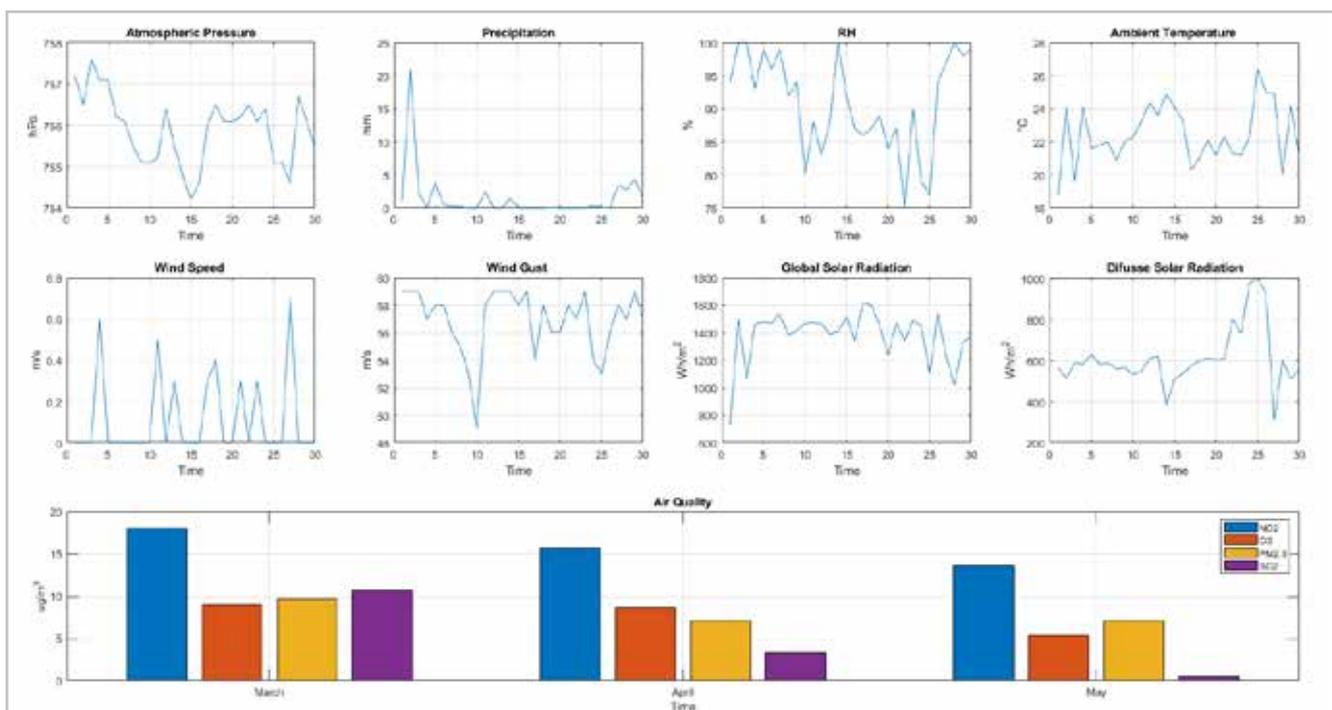
On the other hand, it is convenient to state that the enclosure or façade indicates monumental preservation, and frequently, it is the leading cause of renovation actions (Balaras *et al.* 2005). Further degradation can occur in the damages with the pass of time, resulting in social rejection, detriment to the urban image and the historical landscape without losing its capacity to meet functional requirements (Bassily, Abufarag and Goubran 2022). Therefore, although the factors of maintenance and usage play a fundamental role, the intrinsic characteristics of the material,

the construction process, the technique, and the environment are catalysts for the appearance of symptoms, which show qualitative changes in values and singularities (Iñigo *et al.* 2022; Douglas-Jones *et al.* 2016).

*b) Field environmental measurements*

The report of environmental variables is shown in Figure 4, it corresponds to an average of the study months obtained from the installed meteorological station and the air quality measures from study period.

- Atmospheric Pressure: there is an average value of 756.11 hPa. This value is not used in the architectural study because it represents the air's weight on a surface and is negligible in this analysis (Brandariz 2022). Nevertheless, the authors (Rivas Kluber 2023; Simancas 2003) assert that precipitation and atmospheric pressure are other factors determining the climate, so the incidence of the latter can arise through the set of climatic parameters. Likewise, it is known that in 2021 in Cuenca, the atmospheric pressure fluctuated between 750 and 760 hPa (EMOV EP 2021), which validates the collection of information on the parameter from its relationship with the Cuenca Air Quality Monitoring Network.
- Precipitation: In Cuenca, there is an approximate value per the year of 1612 mm (Sellers Walden 2023; Climate-Data n.d), that is an average value of 134mm per month; in the study period, an average of 42mm was obtained, this parameter is of utmost significance due to its quantity, it can cause severe damage to buildings. If this parameter joins with wind and radiation, a set of cyclic processes that



**Figure 4.-** Monthly average of measured meteorological variables (March to May)

generate an essential group of pathological processes can be provoked (Revelo 2011). Some particular cases are when the action of wind on the surfaces of the elements, erosive action, and others, make the fluorides, chlorides are settled (Rabal Saura and Castejón Porcel 2023; Arencibia Iglesias and Cortiñas Abrahantes 2015), and others.

- **Relative Humidity (RH):** it is understood that as the amount of water that the air contains as a result of the evaporation of water, according to historical data– the relative humidity in Cuenca is around 84% monthly (Sellers Walden 2023; Climate-Data n.d). In the case of this study period, the average value is 90%; hence, it exceeds the average. According to Franco (2016) and Rivas Kluber (2023), it is a macroclimatic parameter, which can be modified due to micro-climatic variations. The variation experienced guides such definition, as well as its association to biodeterioration processes (Rodríguez *et al.* 2023; Rodríguez García 2016) or other plant growth, and even the deterioration of artworks (Muñoz González *et al.* 2020) if any.

- **Diffuse Solar Radiation:** according to the data collected, we have an average of 611 Wh/m<sup>2</sup>. The high values shown occur due to high cloudiness in the study period and, therefore, a lower incidence of direct sunlight on the building (US Department of Energy n.d), which implies a high potential for deterioration associated with discoloration, but not with all pathological processes such as biodeterioration.

- **Global Solar Radiation:** the average value of the data collected is 1378.1 Wh/m<sup>2</sup>, a lower value than the average of 3791 Wh/m<sup>2</sup> estimated by Delgado and Orellana (2015), emphasizing that metric is the sum of direct, diffuse, and reflected radiation, it plays an essential value in the degradation of materials due to its absorption (US Department of Energy n.d; Rosas-Lusett and García 2023).

- **Ambient Temperature:** In Cuenca, there is an average temperature of 15.44 °C (Campoverde 2021; Kottek *et al.* 2006; IERSE n.d). However, an average of 22 °C was obtained in the study period. This metric is vital in the analysis because solar radiation, wind, and humidity play an essential role in the deterioration of architectural surfaces (Athauda *et al.* 2023).

- **Wind Gust:** is defined as the sudden and short-term increase in wind speed. This metric is vital in the analysis because it would damage the architectural surface. In the study period, there is a maximum speed of 59 m/s, which can carry dust and smock from vehicles against the building promoting the deposit, since, when considering the morphology of the area and the scale of the building, there are no obstructions to limit the effect of the wind (Cuadrat *et al.* 2022; Rajagopalan, Lim and Jamei 2015), as in other cases such as Rafael María Arízaga St. (Bustamante Campoverde 2021).

- **Wind Speed:** in some cases of the study period, the values are practically zero, and in the rest of the cases, the values are minimal, reporting an average of 0.11 m/s for the architectural study. This variable can be discarded since it does not

represent a damage factor. Even so, it should be recognized that the predominant wind direction in the HCC follows the alignments of the trace, with particular accentuation at 15h00 from the east, which in turn indicates the influence of the local landscape on the behavior of climatic variables such as wind (Bustamante Campoverde 2021).

- **Air Quality:** in the study period, a high level of PM<sub>2.5</sub> particles can be appreciated, exceeding the threshold established by WHO in 2021 of 15 ug/m<sup>3</sup>, this variable represents a potential damage to the façade due to the long-term accentuation of the particles.

The climatic factors changes, and its destructive nature determine the various consequences on the façade and the roof as highly exposed architectural elements. Research about this last topic should mainly be developed and, is not detailed in this research, however, it is recognized that the type of roof and its operation affect the conservation of the facades. Significantly, in the case of the façade, such factors and their variations modify the distribution of the molecules causing changes in shape or appearance. An example is rain and solar radiation, which causes the humification and drying process, respectively, causing the volume of the material to increase and decrease. If this process occurs repeatedly, the presence of cracks or fissures becomes evident (Albatayne *et al.* 2018), but in the case study, it is not. Also, the wind, with variable conditions of direction and speed, influences the action of the rain, causing more deposited dirt on the material since it can drag larger particles that will be placed on the surface (Vera *et al.* 2022), causing exterior water stains as the case study shows. In general, these environmental factors cause different types of degradation; some of the common and visible (total or partial) on the study case can be summarized as:

- **Depositional fouling:** occurs when the particles are stored superficially on the material, creating a layer of black color in its worst case when the particles are introduced into the pore of the material, but in most cases, the wind and rain drag the particles easily when the atmospheric conditions are Good (Vera *et al.* 2022).

- **Fouling by exterior water stains:** occurs when there are distortions in the path of the water sheet due to the existence of reliefs that will change their direction; thus, the particles will be carried to other material locations entering the pores of the material, which occurs because the particles are dragged slowly, it receives the name of churretones or runoffs, which are common in urban façades (Vera *et al.* 2022; Casas Figueroa 2019).

- **Discoloration and staining:** this action occurs due to the presence of sunlight on the surface which, added to the accumulation of dust, tends to stain and discolor the surface of the material (Vera *et al.* 2022).

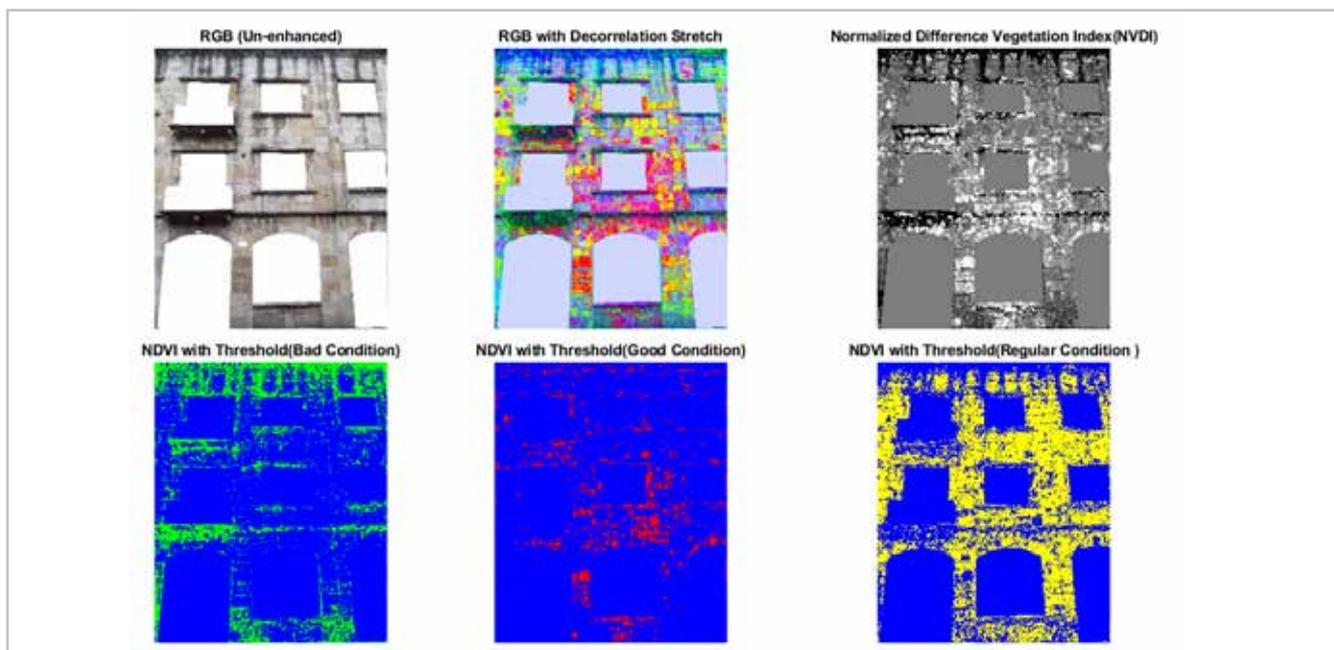
- **Erosion:** this phenomenon occurs due to temperature variations that expand and contract the material's surface, breaking its sheets (Jiménez López 2020).

*c) Digital Image Processing*

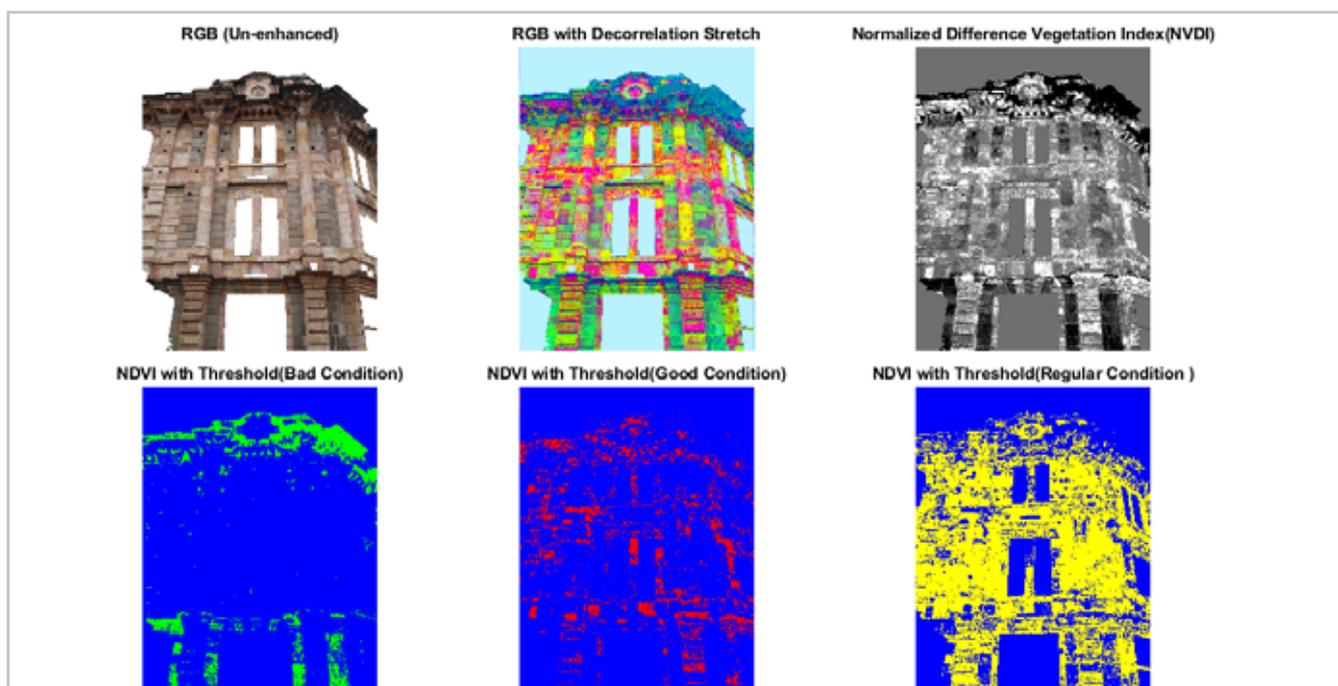
With the environmental data sampled, we proceed to contrast the façade condition as determined in the preliminary diagnosis by digital image processing [Figure 5]. This processing allows us to perform mathematical analysis to propose maintenance actions according to time, which leads to having a technical tool in the activities of façade conservation according to the impact of the environment, so there is correspondence between the two processes. It also guides the architectural elements that require immediate action, such as cornice, sills, apron, lintels, and framing with relief. In other words, some elements increase

vulnerability (Emergency Management Australia 2000) by generating discontinuity of the vertical and horizontal plane of the façade, even though they are determining elements of the Neoclassical architectural style of the asset.

In the same way, to verify that the algorithm works as expected, another heritage building is taken within the area of influence (500 meters) at the intersection of Luis Cordero and Mariscal Sucre streets. The denominated Superior Court of Justice Building, listed as Architectural Value A (AVA), was studied with the image processing, and the same results are obtained [Figure 6] according to damage distribution.



**Figure 5.-** Imagen Processing to identify the state of the material of the building's façade using NVDI analysis of the studied building.



**Figure 6.-** Imagen Processing to identify the state of the material of the building's façade using NVDI analysis

Finally, by applying the thresholds and adding the number of pixels that comply with its range, an estimate of the percentage of damage on each façade can be obtained, summarized in Table 1:

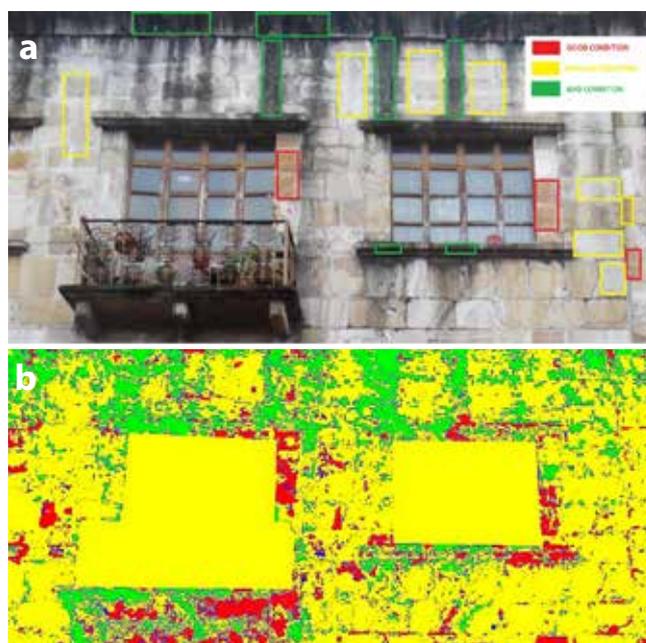
Levels		Building #1 (Studied Building)	Building #2 (Inside influence zone)
		NVDI (% Pixels)	NVDI(% Pixels)
Bad condition	Green	28.1288	12.3899
Good condition	Red	11.3483	14.5362
Regular condition	Yellow	56.8782	67.7524
Not determinate	None	3.6447	5.3214
Total		100%	100%

**Table 1.-** Classification in percentage of the state of the facade found by digital image processing

It is convenient to indicate that the percentage of error shown occurs due to the deviation of the levels between thresholds established in 0.1 pixels within this deviation range are not considered for the analysis to achieve better spectral separation, as can be seen [Figure 5 and Figure 6].

On the other hand, according to the data obtained from the image processing, in the case study [Figure 5], 28.12% of the façade of the building shows a bad state of conservation, that is, severe conditions in its integrity. Also, together with an analysis by observation in situ, the presence of corrosive material covering this area is evidenced due to the high relative humidity present causing fouling by exterior water stains on the architectural elements denominated as vulnerable. In the same way, only 11.34% of the façade of the building is in good condition supported by the meteorological conditions of the area, while the remaining 56.87% is in regular condition, that is, worn, but the latter is not severe due to the level of solar radiation received. However, the same could weaken the material's structure, causing it to fade. At the same time, in the comparative case study [Figure 6], the state of deterioration is ratified, the image processing is able to segment the three states of the facade, it should be noted that the percentage in poor condition is lower than the building studied, this is due to the fact that the location of the building is located at an intersection adjacent to the central park, therefore the particles spread over a larger area, depositing to a lesser extent in On the façade of the building, it should be noted that according to data from the municipality, an average of between 10,000 and 20,000 vehicles circulate daily<sup>1</sup>, although municipal regulations prohibit the presence of public transport within the historic center, vehicle traffic is high, increasing the particles that settle in nearby buildings (Ilustre Municipalidad de Cuenca, 2015).

Finally, Figure 7 shows the input image of the building façade with three regions marked by visual inspection in situ and with NVDI applied. Comparing the regions with the different results obtained from NVDI images shows many similarities, and the algorithm correctly separates the material's states. The image shows the presence of erosion and discoloration in the yellow area, which is travertine. Also, there is fouling by external water stains in the green area and the area that is travertine, too. Furthermore, a good state of conservation is framed in red, where the material is travertine again. In this way, it is shown how, regardless of the material, the constructive discontinuities associated with the style itself or later interventions show the greatest affections, even if the material presents low intrinsic vulnerability, as in the case of the stones.



**Figure 7.-** Input Image Damage Compariso. Figure a) Image with marked regions by visual inspection. Figure b) Image with NVDI applied.

**Conclusions**

The preliminary diagnosis is a relevant approximation to the state of conservation of the façade of the case study, which is enriched through digital image processing. The purpose has shown that it is possible to use NDVI to analyze the state of the façade of a building using only RGB images that can be easily obtained with a mobile phone or, as in this case, using a regular photographic camera. That is a crucial tool to professional development as it helps in low-time investment and avoids effects associated with the purchase of sophisticated equipment and even the hiring of several professionals to formulate a preliminary diagnosis. Also, when obtaining the percentage of affectation towards the environmental variables, the need to plan the technical actions for short-term maintenance to avoid the current condition to advance to an irreversible situation is clear.

With the implementation of the algorithm, it is possible to analyze how environmental conditions impact the façade condition. Through the images it can be seen how rain and particles are deposited in specific places of the buildings at the top and on the edges of the balconies, this is contrasted with the rest of the building where a low level of exposure to weather variables shows a better condition of the facade.

Concerning other levels of damage, it is necessary to define significant retrieval actions and to do so, the implications of technical and financial resources stand out. In other words, some cases where the best majority of the population presents limitations that lead to the loss of heritage should be faced.

On the other hand, it is possible to determine a high vulnerability of damage of the architectural heritage when considering the aggressiveness of the location as a general feature of the First Order Area of the HCC and the whole city, even without taking into account other determining factors such as natural hazards or unforeseen catastrophic events like fires. Indeed, there is the imperative necessity to broaden the scope of heritage diagnostics and the development of emerging risk and vulnerability management policies that would support resilience building.

One of the technical limitations of the work carried out implies that pre-processing of the images has to be done to remove visual elements that affect the identification of the pixels since they generate reflection and are poorly identified by the algorithm.

In future applications of the method, it is expected to expand the case studies considering different materials representative of the HCC heritage buildings. The current findings show optimistic conditions for this. Thus, the results are not decisive, but they show the usefulness of the method for the diagnosis of travertine facades. Another future research field is to test the effectiveness of the algorithm against restored buildings, in addition it is necessary to contrast the percentage of particles that impact the façade versus those found in the nearby environment, in order to establish a link between the quality of the air and the impact on buildings.

## Notes

[1] Refers to roads in which the concentration of particles per million is between 50 and 100. There is constant vehicular traffic, although there is no flow of public transportation; there is permanent commercial activity.

## Acknowledgements

The authors would like to thank the Universidad Católica de Cuenca (Ecuador). This article is part of the research project No. PICODS21-32 called "Los materiales en el estudio histórico – constructivo—ambiental de los conjuntos históricos. El caso de Cuenca. ETAPA 3. Versión Resilient" belonging to the

XII Institutional Call for Projects of the Universidad Católica de Cuenca (Ecuador).

## References

- AGUIRRE ULLAURI, M. D. C., CALLE, M. B. Á., JARRÍN, M. C. C., & QUINTUÑA, I. M. A. (2019). "Evaluación de riesgos y vulnerabilidades. El caso de una vivienda patrimonial en Cuenca, Ecuador", *Revista AUC*, (39): 7-17. <https://editorial.ucsg.edu.ec/ojs-auc/index.php/auc-ucsg/article/view/98>.
- AGUIRRE ULLAURI, M., SANZ, D., & VELA, F. (2018). "Los materiales en la ciudad histórica: identificación, valoración y conservación. El caso de Cuenca, Ecuador". In *Rehabend 2018. Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management Congress*. Cáceres: Universidad de Cantabria, 1339-1348.
- ALBATAYNEH, A., ALTERMAN, D., PAGE, A. & MOGHTADERI, B. (2018). "The Significance of the Orientation on the Overall Buildings Thermal Performance-Case Study in Australia", *Energy Procedia*, 152: 372-377. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.09.159>
- ALULEMA PICHASACA, R. (2018). *La sabiduría cañari de la chacra en relación con la salud y el ambiente, frente a la modernización agropecuaria en la organización Tucayta*. Tesis Doctoral, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador, Quito. <http://hdl.handle.net/10644/6826>
- AMMAIAPPAN, S., & MANOHARAN, S. (2012). "De-correlation stretch filtering approach for effective Poisson reduction in galaxy Images". *International Journal of Computers & Technology*, 11, 2987-2993. <https://doi.org/10.24297/ijct.v11i9.3408>
- ATHAUDA, R. S., ASMONE, A. S., & CONEJOS, S. (2023). "Climate Change Impacts on Facade Building Materials: A Qualitative Study". *Sustainability*, Article 10. <https://doi.org/10.3390/su15107893>
- ARENCIBIA IGLESIAS, S. & CORTIÑAS ABRAHANTES, A. (2015). "Restauración de las fachadas de piedra del Gran Teatro de La Habana Alicia Alonso", ESTOA. *Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca*, 8(5):73-78. [https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27651/1/Estoa8\\_7.pdf](https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27651/1/Estoa8_7.pdf)
- ARGUDO, C., ORELLANA, G., PALACIOS, D., & PÉREZ, M. (2015). *Aplicación de la metodología de manuales de conservación preventiva para la detección y evaluación de riesgos en la manzana comprendida entre Av. Loja, la Calle del Farol y la Av. 12 de Abril*. Tesis de licenciatura, Universidad de Cuenca. Repositorio institucional UCUENCA. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21778>
- ARIZAGA, D. (2012). "La gestión de riesgos del patrimonio cultural: una política de Estado en construcción. El caso ecuatoriano", *Patrimonio Cultural de España*, 6: 43-59. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4357924>
- BASSILY, V., ABUFARAG, T., & GOUBRAN, S. (2022). "Heritage Buildings' Façades as Facilitators for Local Sustainable Development: The Case of Cairo's El Korba Area", *Heritage*, 5(3): 2689-2731. <https://doi.org/10.3390/heritage5030141>

- BRANDARIZ, G. A. (2022). "El aire como material de la arquitectura del siglo XIX". In *IX Encuentro de Docentes e Investigadores de Historia de la Arquitectura, el Diseño y la Ciudad Jorge Ramos de Dios*, La Plata y Buenos Aires. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/150004>
- BURGOS-VIGNA, D. (2017). "Quito, a World Heritage City or a city to live in? Right to the city and right to heritage in the Good Living State", *City*, 21(5):550–567. <https://doi.org/10.1080/13604813.2017.1374774>
- BUSTAMANTE CAMPOVERDE, S. (2021). "Caracterización del viento y la temperatura en los cañones urbanos del centro histórico de Cuenca, Ecuador", *Conservar Patrimonio*, 36: 90 – 105. <https://doi.org/10.14568/cp2019034>
- CAMPIANI, A., LINGLE, A., & LERCARI, N. (2019). "Spatial analysis and heritage conservation: Leveraging 3-D data and GIS for monitoring earthen architecture", *Journal of Cultural Heritage*, 39: 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.02.011>
- CAMPOVERDE, A. S. B. (2021). "Caracterización del viento y temperatura aparente en los cañones urbanos del Centro Histórico de Cuenca, Ecuador", *Conservar Patrimonio*, 36: 90-105. <https://doi.org/10.14568/cp2019034>
- CARRIÓN, F. (2001). *Centros históricos de América Latina y el Caribe*. Quito: FLACSO. [https://biblio.flacsoandes.edu.ec/shared/biblio\\_view.php?bibid=11257&tab=opachttps://biblio.flacsoandes.edu.ec/shared/biblio\\_view.php?bibid=11257&tab=opac](https://biblio.flacsoandes.edu.ec/shared/biblio_view.php?bibid=11257&tab=opachttps://biblio.flacsoandes.edu.ec/shared/biblio_view.php?bibid=11257&tab=opac)
- CARRIÓN, F. (2005). "El centro histórico como proyecto y objeto de estudio". *EURE. Revista de Estudios Urbano Regionales*. 30(93): 89-100. [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-71612005009300006](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612005009300006)
- CARRIÓN, F. (2020). *Desarrollo cultural y gestión en centros históricos*. Quito: FLACSO. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/43633.pdf>
- CASAS FIGUEROA, L. H. (2019). *Degradación, daños, lesiones en la edificación: El estudio patológico*. Cali: Programa Editorial Univalle. <https://libreriasiglo.com/home/66849-degradacion-danos-lesiones-en-la-edificacion-el-estudio-patologico.html>
- CLIMATE-DATA. (N.D.). Clima CUENCA: Temperatura, Climograma y Tabla climática para CUENCA. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-del-azuy/cuenca-875185>
- CONSEJO CANTONAL DE CUENCA. (2010). *Ordenanza para la Gestión y Conservación de las Áreas Históricas y Patrimoniales del Cantón Cuenca*. Cuenca. <http://www.cuenca.gob.ec/?q=node/8993>
- COSENTINO, A. (2015). "Multispectral imaging and the art expert". *Spectroscopy Europe*, 27.
- CUADRAT, J. M., SERRANO-NOTIVOLI, R., BARRAO, S., SAZ, M. Á., & TEJEDOR, E. (2022). "Variabilidad temporal de la isla de calor urbana de la ciudad de Zaragoza (España)", *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 48(1): 97-110. <https://doi.org/10.18172/cig.5022>
- DELGADO, G. J., & ORELLANA, M. L. (2015). *Estimación de la radiación solar global diaria en el cantón cuenca mediante la aplicación del modelo Bristow & Campbell*. Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8428/1/UPS-CT004934.pdf>
- DEL POZO, S., RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, P., SÁNCHEZ-APARICIO, L. J., MUÑOZ-NIETO, A., HERNÁNDEZ-LÓPEZ, D., FELIPE-GARCÍA, B., & GONZÁLEZ-AGUILERA, D. (2017). "Multispectral Imaging In Cultural Heritage Conservation". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2-W5, 155–162. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-155-2017>
- DGM. (2015). Plan de Movilidad <https://www.cuenca.gob.ec/content/plan-de-movilidad>
- DOUGLAS-JONES, R., HUGHES, J., JONES, S. & YARROW, T. (2016). "Science, value, and material decay in the conservations of historic environments", *Journal of Cultural Heritage*, 21: 823 – 833. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.03.007>
- EMERGENCY MANAGEMENT AUSTRALIA. (2000). *Emergency Risk Management – Applications Guide. Manual 5*. Australia: Emergency Management Australia. <https://knowledge.aidr.org.au/media/1975/manual-5-applications-guide.pdf>
- EMOV EP. (2021). Informe Calidad del Aire 2021. Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca. [https://ierse.uazuay.edu.ec/proyectos/links\\_doc\\_contaminantes/Informes-Calidad-Aire/Informe\\_Calidad\\_Aire\\_Cuenca\\_2021.pdf](https://ierse.uazuay.edu.ec/proyectos/links_doc_contaminantes/Informes-Calidad-Aire/Informe_Calidad_Aire_Cuenca_2021.pdf)
- FAOLEX. (2015). Acuerdo No 97/A - Norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión Ecuador. Base de Datos FAOLEX. <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC155133/>
- FRANCO, B. (2016). "Variables climatológicas y los elementos constructivos y paisajísticos". *Revista Científica*. Columbia. <https://www.columbia.edu/py/presencial/arquitectura/revista-cientifica/articulos-de-investigacion/224-variables-climatologicas-y-los-elementos-constructivos-y-paisajisticos>
- GALÁN HUERTOS, E., BERNABÉ GONZÁLEZ, J., & ÁVILA RUIZ, R. M. (2006). "La aplicación de la evaluación de impacto ambiental en el patrimonio monumental y el desarrollo sostenible de las ciudades", *Revista de Enseñanza Universitaria*, (2006): 123–140. <http://hdl.handle.net/11441/55089>
- GALLARDAY, E. (2014). *Mitigación en la alteración de rocas ornamentales debido a efectos ambientales en el Centro Histórico de Lima*. Tesis de doctorado, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Universidad Nacional San Marcos. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/3921>
- HAMBRECHT, G. & ROCKMAN, M. (2017). "International approaches to climate change and cultural heritage". *American Antiquity*, 82 (4): 627–641. <https://doi.org/10.1017/aaq.2017.30>
- HEMMELEB, M., A, F., B, A., C, A., MAIERHOFER, C., & WG, V. (2006). "Multispectral data acquisition and processing techniques for damage

- detection on building surfaces”, *ISPRS Commission V Symposium 2006, Dresden*
- HEMMLEB, M., WERITZ, F., & MAIERHOFER, CH. (2005). “Damage detection on building surfaces with multi-spectral techniques”. CIPA 2005 XX *International Symposium*, Torino. <https://www.cipaheritagedocumentation.org/wp-content/uploads/2018/12/Hemmleb-e.a.-Damage-detection-on-building-surfaces-with-multi-spectral-techniques.pdf>
- HERAS, V., BRIONES, J. C., & SINCHI, E. (2018). “Procesos de clasificación supervisados como herramienta de monitoreo del patrimonio cultural edificado”, *ASRI: Arte y sociedad. Revista de investigación*, 14: 95-102. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/35487>
- HERAS, V., SINCHI, E., BRIONES, J., & LUPERCIO, L. (2019). “Urban heritage monitoring, using image processing techniques and data collection with terrestrial laser scanner (tls), case study Cuenca – Ecuador”, *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W11: 609–613. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-2-w11-609-2019>
- HUANG, S., TANG, L., HUPY, J. P., WANG, Y., & SHAO, G. (2021). “A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing”, *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>
- HERNANDEZ, X. (1997). *La imagen urbana en ciudades turísticas con patrimonio histórico. Manual de Protección y Mejoramiento*. México: Secretaría de Turismo. <https://cedocvirtual.sectur.gob.mx/janium/Documentos/003160Pri0000.pdf>
- ICC & ICCROM. (2016). *The ABC Method: A risk management approach to the preservation of cultural heritage*. Canadian Conservation Institute. [https://www.iccrom.org/sites/default/files/2017-12/risk\\_manual\\_2016-eng.pdf](https://www.iccrom.org/sites/default/files/2017-12/risk_manual_2016-eng.pdf)
- INSTITUTO DE ESTUDIOS DE RÉGIMEN SECCIONAL DEL ECUADOR (IERSE). (N.D.). Monitoreo Meteorológico Continuo. Monitoreo Meteorológico Continuo. <https://ierse.uazuay.edu.ec/>
- ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE CUENCA. (2015). *Plan de movilidad y espacios públicos*. [https://www.cuenca.gob.ec/system/files/PMEP\\_CUENCA\\_2015\\_tomo\\_I.pdf](https://www.cuenca.gob.ec/system/files/PMEP_CUENCA_2015_tomo_I.pdf)
- IÑIGO, A. C., TALEGÓN, J. G., RODAS, J. Á. P., AGUSTÍN, E. A., HERNÁNDEZ, A. M. G., BALLESTEROS, E. M. & FERNÁNDEZ, M. I. L. (2022). “Estudio del deterioro y conservación de los materiales de la Catedral de Ávila”. In *La piedra en el patrimonio monumental*. Salamanca: Ediciones Universidad de Salamanca. <https://doi.org/10.14201/0BCL0113754>
- JIMÉNEZ LÓPEZ, L. (2020). *Humedades en la construcción. Protección y tratamiento*. Madrid: Editorial Paraninfo.
- KAZEMI, F., & GHANBARI PARMEHR, E. (2023). “Evaluation of RGB Vegetation Indices Derived from UAV Images for Rice Crop Growth Monitoring”. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, X-4-W1-2022, 385–390. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W1-2022-385-2023>
- KIM, D. K., JUNG, J., & SEO, J. (2016). “Advances in Civil, Architectural, Structural and Constructional Engineering”. *Proceedings of the International Conference on Civil, Architectural, Structural and Constructional Engineering*, Busan: Dong-A University, CRC Press. <https://books.google.com.ec/books?id=lAbYCwAAQBAJ>
- KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B. & RUBEL, F. (2006). “World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated”, *Meteorologische Zeitschrift*, 15 (3): 259 - 263, <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- MANNONI, T. (2006). Arqueología, Arqueometría e Historia de la Cultura Material. En Carta, R. (coord.), *Arqueometría y arqueología medieval*, 17-36, Universidad de Génova, Instituto de Historia de la Cultura Material, Génova.
- MARKHAM, A., OSIPOVA, E., LAFRENZ SAMUELS, K. & CALDAS, A. (2016). *World Heritage and Tourism in a Changing Climate, United Nations Environment Programme*. Paris, Nairobi, Kenya: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization <http://whc.unesco.org/document/139944>
- MEROÑO, J. E., PEREA, A. J., AGUILERA, M. J., & LAGUNA, A. M. (2015). “Recognition of materials and damage on historical buildings using digital image classification”. *South African Journal of Science*, 111(1–2), 01–09. <https://doi.org/10.17159/sajs.2015/20140001>
- MINCHALA, M. (2019). *Identificación y documentación de obras arquitectónicas modernas en el sector norte del Centro Histórico de Cuenca*. Cuenca: NA.
- MILLER, K. (2024). Value in Using the Correct Index: Comparing NDVI, false-NDVI, and VARI, *LinkedIn*. <https://www.linkedin.com/pulse/value-near-infrared-debunking-myth-false-ndvi-kyle-miller/>
- MUNICIPIO DE CUENCA & UNIVERSIDAD DE CUENCA. (2017). *Propuesta de inscripción del Centro Histórico de Cuenca Ecuador en la lista de patrimonio mundial*. Edición Comentada 2017. Cuenca: Universidad de Cuenca & GAD Municipal del cantón Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28735>
- MUÑOZ GONZÁLEZ, C., LEÓN RODRÍGUEZ, A., NAVARRO CASAS, J., RUIZ JARAMILLO, J. & TEELING, C. (2020). “Evaluación de riesgos, monitorización y simulación de edificios patrimoniales”, *Ge-conservación*, 17(1): 215-225. <https://doi.org/10.37558/gec.v17i1.758>
- MUTAL, S. (2003). “Ciudades y centros históricos de América Latina y el Caribe. Algunas recomendaciones: el futuro de las ciudades históricas”. In *II Encuentro sobre Manejo y Gestión de Centros Históricos*, La Habana. <https://www.heritageanddevelopment.org/files/article01.pdf>
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA CULTURA, LAS CIENCIAS Y LA EDUCACIÓN. (UNESCO). (1972). “Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural”. In *17va Conferencia General*, París: UNESCO. <https://whc.unesco.org/archive/convention-es.pdf>
- ORTIZ, P., ANTUNEZ, V., MARTÍN, J. M., ORTIZ, R., VÁZQUEZ, M. A., & GALÁN, E. (2014). “Approach to environmental risk analysis for the

- main monuments in a historical city”, *Journal of Cultural Heritage*, 15(4): 432–440. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2013.07.009>
- ORTIZ, R., & ORTIZ, P. (2016). “Vulnerability index: A new approach for preventive conservation of monuments”, *International Journal of Architectural Heritage*, 10(8): 1078–1100. <https://doi.org/10.1080/15583058.2016.1186758>
- PEREZ-MONSERRAT, E., VARAS-MURIEL, M., ALVAREZ DE BUERGO, M. & FORT, R. (2016). “Black layers of decay and color patterns on heritage limestone as markers of environmental change”. *Geosciences*, 6(1): 4. <https://doi.org/10.3390/geosciences6010004>
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD) & OFICINA DE LAS NACIONES UNIDAS DE SERVICIOS PARA PROYECTOS (UNOPS). (2017). *Acuerdo de contribución entre organismo de las Naciones Unidas*. Cuenca: Dirección Regional para América Latina y el Caribe. <https://n9.cl/n6zft>
- PURDY, G. (2010). “ISO 31000: 2009—setting a new standard for risk management”, *Risk Analysis: An International Journal*, 30(6): 881–886. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2010.01442.x>
- RABAL SAURA, G., & CASTEJÓN PORCEL, G. (2023). Los cucos, un ejemplo de arquitectura en piedra seca en el municipio de Fuente Álamo de Murcia. In *XXIX Jornadas de patrimonio cultural región de Murcia 2023*, Murcia: Editorial Tres Fronteras. <http://hdl.handle.net/10045/138194>
- RAJAGOPALAN, P.; LIM, K. C. & JAMEI, E. (2014). “Urban heat island and wind flow characteristics of a tropical city”, *Solar Energy*, 107: 159–170, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.05.042>
- REVELO, G. (2011). “Influencia de los elementos climáticos en el deterioro de las fachadas de edificaciones del Barrio Colón”, *Arquitectura y Urbanismo* 2011, XXXII (3): 38–47. <https://www.redalyc.org/pdf/3768/376839863003.pdf>
- RIVAS KLUBER, C. D. (2023). *Arquitectura bioclimática*. Perú: Fondo Editorial, Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/130137>
- RODRÍGUEZ GARCÍA, J. (2016). “Microbiología aplicada: una herramienta para la conservación del patrimonio cultural”, *Conservar Patrimonio*, 24:23–36. [https://arp.org.pt/revista\\_antiga/pt/artigos/2015007.html](https://arp.org.pt/revista_antiga/pt/artigos/2015007.html)
- RODRÍGUEZ, A. E. C., TABARES, L. H., ABREU, I. O., NÁPOLES, D. R., & VAN ESPEN, P. (2023). “Potencialidad del CEADEN para desarrollar sistemas Inalámbricos de monitoreo ambiental y su empleo para la conservación del patrimonio cultural”, *Nucleus*, (73): 18–24. <http://nucleus.cubaenergia.cu/index.php/nucleus/article/view/781>
- ROSAS-LUSETT, M. & GARCÍA, V. M. (2013). “La influencia de la configuración de los cañones urbanos en el confort del peatón”, *Nova Scientia*, 6 (11): 228–253. <https://doi.org/10.21640/ns.v6i11.81>
- ROURA BURBANO, A., & OCHOA ARIAS, P. (2014). “Influencias de estilos arquitectónicos en el Centro Histórico de Cuenca”, *Universidad Verdad. Patrimonio Cultural*, 64: 99 – 118. <https://www.uazuay.edu.ec/bibliotecas/publicaciones/UV-64.pdf>
- RUEDA, E. (2014). “Propuesta de mapa de riesgos de bienes patrimoniales inmuebles expuestos a amenazas de origen natural”, *Enfoque UTE*, 5(1): 30–48. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v5n1.34>
- SÁNCHEZ MENDIETA, C. (2021). *Urge cuidar casas patrimoniales para parar su destrucción*. *El Mercurio* [Internet]. Disponible en: <https://elmercurio.com.ec/2021/10/05/urge-cuidar-casas-patrimoniales-para-parar-su-destruccion/>
- SATHESTH, S. & MANOHARAN, S. (2013). “De-correlation stretch filtering approach for effective Poisson reduction in galaxy Images”, *International Journal of Computer & Technology*, 11(9): 2987 – 2993. <https://doi.org/10.24297/ijct.v11i9.3408>
- SELLERS WALDEN, C. A. (2023). *Determinación de estacionalidad en función de los datos meteorológicos en la ciudad de Cuenca*. Tesis de licenciatura, Universidad del Azuay. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/12887>
- SIMANCAS, K.C. (2003). *Reacondicionamiento Bioclimático de viviendas de segunda residencia en clima mediterráneo*. Tesis de Doctorado, Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Universitat Politècnica de Catalunya. <https://www.tdx.cat/handle/10803/6113#page=1>
- US DEPARTMENT OF ENERGY. (N.D.). *Solar Radiation Basics*. *Solar Radiation Basics*. *Solar Energy Technologies Office* [Internet]. Disponible en: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-radiation-basics>
- VALENÇA, J., GONÇALVES, L. M. S., & JÚLIO, E. (2013). “Damage assessment on concrete surfaces using multi-spectral image analysis”. *Construction and Building Materials*, 40, 971–981. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.061>
- VERA GUARNIZO, M. C., MIRANDA GUTIÉRREZ, D. A., MONROY GUTIÉRREZ, J. E., DÍAZ OCHOA, M. L., & GRIMALDO RODRÍGUEZ, J. F. (2022). *Patología de la construcción: un ejercicio de impacto al servicio de la comunidad*. Bogotá: Corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO. <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/13848>
- WHO. (2005). *Air quality guidelines global update 2006*. <https://www.who.int/publications-detail-redirect/WHO-SDE-PHE-OEH-06.02>
- WHO. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240034228>
- ŽARNIĆ, R., RAJČIĆ, V., & MOROPOULOU, A. (2012). “Identity card of cultural heritage: how to collect and organize data”. In *Progress in Cultural Heritage Preservation: 4th International Conference, EuroMed 2012, Limassol*: Springer Berlin Heidelberg. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-34234-9\\_34](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-34234-9_34)

## Autor/es



**María del Cisne Aguirre Ullauri**  
[maguirreu@ucacue.edu.ec](mailto:maguirreu@ucacue.edu.ec)  
Universidad Católica de Cuenca  
<https://orcid.org/0000-0002-3179-7839>

María del Cisne Aguirre Ullauri, research professor since 2015 and head of research since 2022 in Universidad Católica de Cuenca. Architect since 2010 by the University of Cuenca; Master in Conservation and Restoration of Architectural Heritage since 2014 by Universidad Politécnica de Madrid (España), and PhD in Architectural Heritage by Universidad Politécnica de Madrid (España). She has received the distinction cum laude, international doctorate and extraordinary doctoral thesis award in the 2021-2022 call in Universidad Politécnica de Madrid. She has worked as a freelance professional, as well as in several public and private institutions in the areas of design, construction and consulting. Her main research lines are architectural heritage, historical materials and architecture in general. She is a member of the Ecuadorian Network of Women Scientists (REMCI, in Spanish), ICOMOS International, the PHI network (Patrimonio Histórico+Cultural Iberoamericano). Also, is member of Ciudad, Ambiente and Tecnología research group and Ciencia and Diversidad research group, both at Universidad Católica de Cuenca.



**Javier Bernardo Cabrera Mejía**  
[jcabreram@ucacue.edu.ec](mailto:jcabreram@ucacue.edu.ec)  
Universidad Católica de Cuenca  
<https://orcid.org/0000-0003-2027-0211>

Javier Bernardo Cabrera Mejía has been a Universidad Católica de Cuenca professor since 2010. He is currently a full-time professor of the Electrical Engineering program. Among his training, we find that he is an Electronic Engineer from the Universidad Politécnica Salesiana (2008), a Master in Communications Networks from the Pontificia Universidad Católica del Ecuador, a Doctor in Information and Communication Technologies from the Universidad de Vigo in 2022 and is currently a candidate to doctor in the Doctorate of Condensed Matter Physics, Nanoscience and Biophysics at the Universidad de Oviedo. Among his academic work experience, he stands out as a teacher for more than 13 years, Coordinator of the Research Group on Smart Electrical Networks, Coordinator of the Real-Time Simulation Laboratory of the Center for Research, Innovation and Technology Transfer, Coordinator of Institutional Training Research and career, Director of Research and Link with Society projects, Head of Scientific Research, Deputy Director of Research; Expert in the evaluation model of Universities and Polytechnic Schools in the field of Research, national and international speaker, writer of several scientific articles, books and book chapters, as well as the registration of intellectual property and patents. Among his recognitions, the best article in the Future Smart Cities presented in Cairo 2020 stands out. Dr. Cabrera belongs to the IEEE Network. Among the research projects under his responsibility, the Development of a Multisensory Room for people with disabilities stands out; the creation of a real-time simulation laboratory OPAL 5600, where prototypes and patents related to electric mobility, generation, and electricity distribution have been developed.

and management of renewable energies, intelligent collectors for handling plastic bottles, smart sunlights for skin care, SCADA monitoring systems in an intelligent city concept; and participated as a researcher in external projects such as CAPs2 ERIGrid of the Horizont 2020 project, Brain+ as a detector of ECG signals for neurosensory treatments with the Universidad Politécnica Salesiana and the Institute of Neurosciences of the Universidad Católica de Cuenca.



**Carlos Ernesto Guerrero Granda**  
[carlos.guerrero@ucacue.edu.ec](mailto:carlos.guerrero@ucacue.edu.ec)  
Universidad Católica de Cuenca  
<https://orcid.org/0000-0002-4343-0372>

Carlos Ernesto Guerrero Granda is currently working as research assistant in Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología (CIITT) from Universidad Católica de Cuenca. Received his degree in electronic engineering and telecommunications from Universidad de Cuenca in 2018, the master's degree in Internet of Things from Universidad Internacional de La Rioja in 2023. His research interests include sensors, microcontroller-based signal conditioning circuits, monitoring of electrical assets in smart grids, Internet of Things (IoT) applied in remote monitoring.



**Michelle López Suscal**  
[mishilopez14@gmail.com](mailto:mishilopez14@gmail.com)  
Universidad Católica de Cuenca  
<https://orcid.org/0000-0001-7425-8897>

Architect by the Universidad Católica de Cuenca (2022). During the last years of professional preparation, I have been involved in research projects on constructive innovations and architectural heritage. I have participated in architectural design, urban-architectural and research events. I have received architectural awards in urban-architectural design with the team coordinated by Architect Boris Albornoz in the "II Contest of Ideas Metropolitan Corridor of Quito" (2020) and XVI BIACR 2022 in the research category with the project "Vernacular Architecture: Quingeo Center (2022)". I have been author, co-author and collaborator of research and scientific articles in conservation and management of architectural heritage. Research interests in conservation, management and restoration of architectural heritage. I am currently an architectural technician in the research project of the Catholic University of Cuenca and Pablo de Olavide University "Los materiales en el estudio histórico-constructivo-ambiental de los conjuntos históricos. El caso de Cuenca. ETAPA 2. Versión Resilient.

Artículo enviado 27/12/2023  
Artículo aceptado el 02/04/2024



<https://doi.org/10.37558/gec.v25i1.1293>



## Recontextualizando y analizando prácticas de conservación en un textil arqueológico de Arica en el MNHN

Yasna Sepúlveda Guaico, Francisco Garrido

**Resumen:** Las prácticas de conservación en los museos son procesos que se convierten en parte importante de la biografía de los objetos, en ocasiones influyendo en su configuración física y documental. En este artículo discutimos el caso de una pieza textil depositada en el Museo Nacional de Historia Natural de Chile (MNHN), la cual corresponde a un posible faldellín o delantal proveniente de Arica, de un contexto arqueológico local de época incaica. Esta pieza ingresó a la colección hace más de un siglo, por medio de una donación privada; a pesar de sus intervenciones, hemos podido reconfigurar su diseño original en función del trabajo comparativo con otros ejemplares similares, reconstruyendo así su contexto y asignación cultural.

**Palabras clave:** Recontextualización, textil, museo, Arica, MNHN, conservación preventiva

### Recontextualising and analysing conservation practices in an archaeological textile from Arica at the MNHN

**Abstract:** The conservation practices in museums are processes that become an important part of the biography of objects, sometimes altering their record and physical configuration. In this article, we discuss the case of a textile piece deposited at the National Museum of Natural History of Chile (MNHN), which corresponds to a possible skirt or apron from Arica, which came from a local archaeological context from the Inca period. This piece entered the collection over a century ago through a private donation; despite its interventions, we have been able to reconstruct its original configuration through comparative work with other similar specimens, thereby reconstructing its context and cultural assignment.

**Keywords:** Recontextualization, textile, museum, Arica, MNHN, preventive conservation

### Recontextualizando e análise das práticas de conservação num têxtil arqueológico de Arica no MNHN

**Resumo:** As práticas de conservação nos museus são processos que se tornam uma parte importante da biografia dos objetos, por vezes influenciando a sua configuração física e documental. Neste artigo, discutimos o caso de uma peça têxtil depositada no Museu Nacional de História Natural do Chile (MNHN), que corresponde a um possível saia ou avental proveniente de Arica, de um contexto arqueológico local da época Inca. Esta peça entrou na coleção há mais de um século, por meio de uma doação privada; apesar das suas intervenções, conseguimos reconfigurar o seu design original através do trabalho comparativo com outros exemplares semelhantes, reconstruindo assim o seu contexto e atribuição cultural.

**Palavras-chave:** Recontextualização, têxtil, museu, Arica, MNHN, conservação preventiva

## Introducción

El desafío de documentar colecciones museográficas con poca información contextual, lo que se ha descrito como una “crisis curatorial” (Friberg y Hubila 2019), es un tema cada vez más apremiante en la medida en que el paso del tiempo puede afectar la conservación y además limita gradualmente las posibilidades de encontrar información para reconstruir el contexto de objetos que ya salieron de su contexto sistémico (Schiffer 1991). Sin embargo, el paso del tiempo también puede ser un factor positivo en la medida que nuevas investigaciones y hallazgos documentales permitan mejorar la documentación y corregir problemas derivados de intervenciones anteriores (Martínez 2002). Los depósitos de los museos no son estáticos, hay movimiento, acciones de conservación y registro; la vida documental de los objetos continúa, agregando nueva información sobre los mismos (ICC 1999; Alberti 2005; Caple 2012; CDBP 2021). Desde sus orígenes en la década de 1830, el Museo Nacional de Chile, actual MNHN, ha tenido como misión el recolectar, registrar y preservar la diversidad de la flora y fauna del país, donde su principal objetivo era el conocer la riqueza económica y natural de la joven república (Schell 2013). Desde su primer director, el naturalista Claudio Gay, el museo comenzó a

recibir artefactos del pasado prehispánico del país, los cuales si bien al principio fueron considerados como simples curiosidades, en la segunda mitad del siglo XIX comenzaron a ser utilizados para realizar interpretaciones arqueológicas que ayudaron a generar una narrativa histórica para la república de Chile (Schell 2013; Gänger 2014; Garrido 2018a; Valenzuela y Garrido 2023).

A pesar de haber acumulado un gran número de colecciones arqueológicas y etnográficas durante el siglo XIX, el Museo inició recién hacia fines de dicho siglo los primeros inventarios oficiales de estos bienes patrimoniales, en donde ya muchos de ellos habían perdido información de contexto y procedencia. Sólo en 1914 se decide crear una sección de Antropología con el objetivo de formalizar el estudio del pasado y presente de los pueblos indígenas de Chile, sin dejar de lado el estudio y la colecta de artefactos de otras culturas del mundo (Moore 1914; Mostny 1961). Las piezas u objetos arqueológicos y etnográficos provenían principalmente de donantes privados (Matus 1916), quienes también tenían motivaciones personales de trascendencia en el tiempo, percibiendo al museo como un ente garante de inmortalidad (Alberti 2005). A partir de 1914 hubo una mayor sistematización de los libros de inventario para el



**Figura 1.-** A) Fotografía de la pieza en su soporte/embalaje original; B) Nuevo embalaje de la pieza; C) Etiqueta antigua y etiqueta moderna “S/N” (sin número de Registro); D) Detalle del soporte del soporte original de cartón antiguo por el revés, donde se lee el número 13.000.

material arqueológico-antropológico, incorporando datos como año de donación, nombre del donante, nombre del objeto, procedencia y observaciones.

Durante la historia del Museo, hubo diversas acciones de conservación sobre sus colecciones. Hasta la segunda mitad del siglo XX, pocos objetos tuvieron un embalaje dedicado, siendo habitual que se guardasen en embalajes improvisados como cajas de mercadería, separándolos con papel de diario, maderas o papeles, e identificados sólo por medio de etiquetas o por marcas directas sobre las piezas. Para ello se utilizaban diversas tintas y nomenclaturas, que en ocasiones perdían el nexo al que hacían referencia. En general, se tomaban medidas intuitivas, utilizando materiales genéricos para embalaje y restauración. Sólo a partir de la década de 1980 se comenzó en el MNHN un trabajo sistemático de embalaje, documentación y etiquetado, incluyendo acciones de conservación especializadas conducentes a un manejo integral de colecciones (sensu ICC 1999; Espinoza y Grüzmacher 2002; Muñoz-Campos 2004; Nagel 2008; CDBP 2021), proceso que no se ha detenido hasta el presente.

La magnitud de las colecciones del MNHN, en conjunto con la histórica escasez de profesionales idóneos e insumos adecuados, ha derivado en que muchos objetos de antigua adquisición estén a la espera de un trabajo integral de manejo de colecciones. Ante tal situación, es normal que cada cierto tiempo surjan “hallazgos” de objetos que han permanecido descontextualizados dentro del museo, pero que al contar con nueva información se logra re-asociarlos y restituir su contexto. Así, la pieza agrega otro capítulo más a su historia, la cual está íntimamente ligada a las acciones propias de la institución y a la labor de quienes custodian las colecciones (Caple 2021).

En particular, este artículo presenta el caso de un objeto textil de origen arqueológico de época prehispánica de Arica, norte de Chile, donado al MNHN. Esta pieza que es un ejemplar único en la colección del MNHN estaba disociada, es decir, sin registro y separada de su conjunto de origen (Rose *et al.* 2019). La investigación sobre su historia, origen, materialidad, diseño y alteraciones que componen su biografía como colección (sensu Alberti 2005), nos permite comprender no sólo el contexto de sus creadores, sino que también su historia dentro del museo y las prácticas museológicas del pasado (Martínez 2002).

## Metodología

Para reconstruir el contexto y abordar el estudio de la mencionada pieza textil, nuestra metodología de trabajo se rigió por principios de mínima intervención, compatibilidad de materiales y autenticidad (para determinar la condición original de la pieza). La primera acción de trabajo sobre la pieza buscó contextualizarla museográficamente, recogiendo sus datos históricos y etiquetas. Luego, se analizó su aspecto y características

tecnológicas, estructurales y estilísticas. De esta forma analizamos su diseño a través de la estructura que lo conforma, la disposición de colores y su materialidad.

Gran parte del análisis fue visual y además se realizaron acciones de conservación preventiva. Los estudios más específicos de fibras se realizaron utilizando un microscopio Zeiss Axiolab con 400x de aumento, lo que además nos permitió determinar las acciones precedentes realizadas sobre la pieza y el grado de modificación que habría sufrido el patrón decorativo original. También, se evaluaron las condiciones de conservación de la pieza y la forma de almacenaje presente, todo esto para poder tomar decisiones debidamente justificadas sobre como mejorar su preservación. Finalmente, se preparó un nuevo embalaje de material neutro, donde esta se dispuso horizontalmente, permitiendo aislarla de la luz y del polvo (ICC 1999; Espinoza y Grüzmacher 2002; Muñoz-Campos 2004). Durante todo el proceso de análisis y acciones de conservación preventiva, se realizó un registro fotográfico de la pieza.

Luego del análisis y con la nueva información contextual, la pieza pudo ser comparada con ejemplares similares de otros museos, permitiéndonos realizar inferencias arqueológicas sobre su contexto y adscripción cultural. Todos estos pasos nos entregan nueva información contextual que permiten una mejor valoración del objeto, creando además un nuevo evento en su historia como pieza de museo.

## Resultados

### —Contextualización museográfica

La pieza corresponde a un textil de la localidad de Arica, costa norte de Chile [Figura 1A]. Su única referencia era una etiqueta que decía “Taparrabo. Cementerio pre-incásico-Morro de Arica”. Este tipo de textil ha sido denominado como faldellín (Agüero 2002; Cases y Montt 2013; Horta 2015), y corresponde a una pieza de indumentaria que cubre el cuerpo desde la cintura hacia abajo. También se le ha llamado cobertor, taparrabo, delantal o mandil (Uhle 1922; Ulloa 1981a; Agüero 2002). Prendas similares se encuentran en diversos sitios arqueológicos del norte de Chile, desde aquellos atribuidos a poblaciones cazadoras recolectoras de la cultura Chinchorro, hace unos 8000 a 4000 años (Agüero 2002; Acevedo 2010), siendo también representadas en el atuendo de figuras antropomorfas del arte rupestre de la zona del río Salado, Región de Antofagasta durante el periodo Formativo hace unos 2000 años atrás (Montt 2002). Los faldellines decaen en uso en periodos posteriores (Cases y Montt 2013), lo cual pone en duda el hecho de que piezas con similitud formal hayan tenido eventualmente la misma función como indumentaria.

La pieza analizada no tenía número de inventario visible, ni estaba asociada a una colección en particular, habiendo

experimentado disociación, uno de los peores agentes de riesgo de deterioro en los museos (Rose et al 2019). Esta pieza se encontraba guardada en depósito, en una caja que contenía otros textiles sin datos de origen. La mayoría estaba cosida sobre cartones, dentro de bolsas plásticas con etiquetas antiguas que indican sólo sus dimensiones. La práctica de fijación de textiles arqueológicos mediante costura con hilo industrial sobre una superficie rígida como cartón, fue una forma normalizada en el MNHN hasta mediados del siglo XX. Es posible que la pieza haya sido expuesta en el pasado, ya que el soporte tenía un vidrio protector que ya no está. Dicho soporte estaba en muy malas condiciones, sucio, endeble, sin aislación y no era neutro químicamente, requisito fundamental para ayudar en la conservación de la pieza (Kajitani 1993, Espinoza y Grüzmacher 2002).

La caja del textil tenía adherida una etiqueta con caligrafía de principios del siglo XX, usando tinta sobre papel envejecido (oxidado). También, acompañaba a la pieza otra etiqueta de la década de 1980 que agregaba: "s/n" (sin número) y "Dimensiones: 38 cm ancho y 45 cm de largo" (Figura 1C). Al revisar el reverso del marco del contenedor apareció oculto el número "13.000" anotado con tinta (Figura 1D), el cual estaba registrado en el libro de inventario de Antropología como ingresado en el año 1948, con la siguiente información: "Taparrabo de tejido de lana multicolor con flecos (bajo vidrio); tipo: Vestimenta; poseedor; Ernesto Vigneaux Palacios; procedencia: Arica; observaciones: Excavaciones hechas en Arica durante trabajos de canalización y alcantarillado en 1912, hechas por el ingeniero jefe sr. Ernesto Vigneaux Palacios, y obsequiado al museo en su memoria por su hija la sra. Vigneaux de García Huidobro (posiblemente María Adela). Arica". La colección Vigneaux se compone de 257 artefactos entre los que destacan tejidos, alfarería, y cucharas de madera de Arica, incluyendo al menos 3 objetos que posiblemente serían de Bolivia y Ecuador, además de uno del sur de Chile. Dentro del libro de inventario se menciona bajo el número 13.170 otro "Fragmento del taparrabo 13.000" con datos iguales respecto del origen de la pieza, la cual al ubicarla, logramos determinar que es coincidente con la anterior.

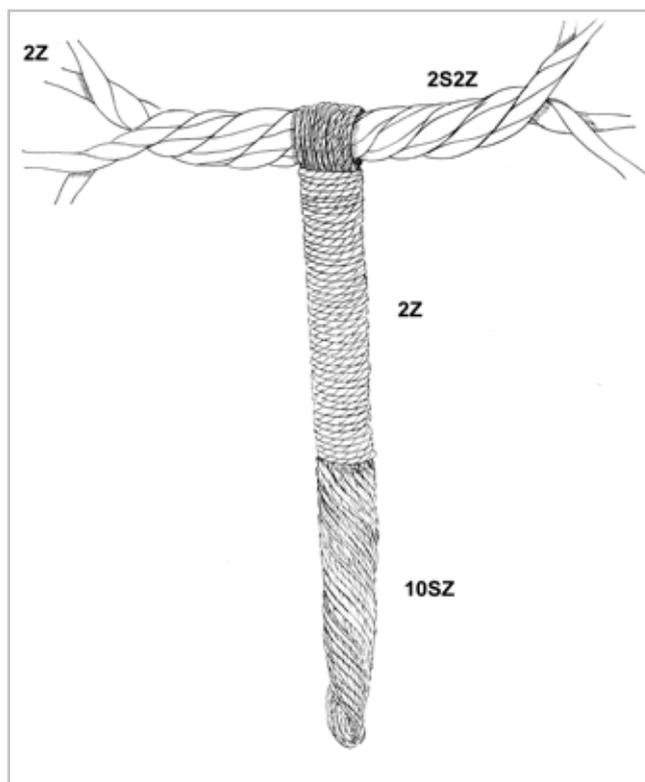
Ernesto Vigneaux Palacios fue un ingeniero que trabajó en el ministerio de tierras y colonización, dentro de la "Comisión Radicadora de Indígenas", hasta 1906 (Ministerio de Relaciones Exterior, Culto y Colonización 1906: 1162). Luego, entre 1908 y 1911 construyó los almacenes de la base naval de Talcahuano y posteriormente se dedicó a las obras hidráulicas en la ciudad de Arica, construyendo su alcantarillado (Mate de Luna 1921). Cabe destacar que dicha época coincide con la presencia en Arica del arqueólogo alemán Max Uhle, quien previamente había trabajado en Perú, elaborando la primera secuencia cronológica pre-incaica (Kaulicke 1998; Ramón 2005). En Chile, mientras trabajaba para el Museo de Etnología y Antropología de Santiago, sus trabajos en el norte del país lo llevaron a expandir su mirada cronológica, incorporando las poblaciones prehispánicas chilenas dentro de su esquema cronológico andino (Uhle 1922). La colección Vigneaux depositada en el MNHN contiene textiles, alfarería

decorada, elementos de pesca y ornamentos de plumas, la mayor parte concordante con las culturas locales de Arica durante el periodo Intermedio Tardío (1000 al 1400 d.C.), aunque la mayor parte de dichos elementos se mantuvo en uso durante época Inca. No sabemos si hubo relación entre Vigneaux y Uhle, pero es muy probable que el primero haya estado enterado de los trabajos de Uhle y quizá se haya inspirado en ellos para formar su colección.

#### —Análisis tecnológico estructural

La pieza de estudio es de forma rectangular y mide 44 cm de ancho por 47 cm de alto y 1 cm de espesor. Está elaborada por medio de un cordón superior ubicado horizontalmente, de color marrón oscuro, formado por dos cabos o hilos con torsión en Z, retorcidos en S, es decir, 2S2Z, de fibra de camélido. De este cordón se entrelazan perpendicularmente otros cordones, formados por hilos de color crudo con torsión en Z, retorcidos de 10 cabos juntos en sentido S (10SZ), que vuelven sobre sí mismos, por lo que no presentan corte en la zona inferior [Figura 2].

Estos 56 cordones de color crudo, están todos embarrilados en la parte superior, hasta la mitad de su longitud con finos hilos de distintos colores, todos con torsión 2Z, de fibra de camélido. El embarrilado consiste en hacer girar el fino hilado de color sobre un cordón o grupo de hilados de color crudo (alma) escondiendo el extremo con el siguiente hilado de otro color que gira, no dejando puntas de hilados de colores a la vista. La disposición de los colores genera una decoración



**Figura 2.-** Esquema del diseño estructural de los cordones donde se aprecia la torsión en S y en Z.

geométrica que desaparece en algunos sectores. También, tiene huellas de hilados originales (nudos en los extremos, trozos de hilado o agujeros en los cordones) que habrían atravesado los cordones en al menos 3 sectores, fijando la pieza transversalmente en la zona del embarrilado.

El cordón superior que estructura la pieza como unidad está cortado en varias partes y existe una intervención moderna por medio de puntadas o costuras con hilo industrial de fibra de algodón, fijando los cordones. Además, un trozo del cordón superior está reemplazado por otro de color beige de fibra de yute, revelando claramente que habría sufrido un rearmado y por ende un desorden en la distribución de los cordones que componen la pieza, alterando su diseño e iconografía.

#### —Análisis estilístico

En la zona superior de la pieza donde están los cordones embarrilados, el faldellín tiene un campo que muestra una decoración o diseño dado por la disposición de los hilos de colores que presentan una altura continua a lo ancho. Estos colores a lo largo de cada cordón, en varios tramos, van componiendo un diseño geométrico junto a los cordones adyacentes, y se distinguen figuras triangulares de color ocre, circunscritas con pequeños triángulos de color verde oscuro que forman un diseño escalonado, ganchos de color ocre, y otros de color beige.

Los colores presentes en la pieza 13.000 y el cordón 13.170 se clasificaron utilizando la carta Munsell como referencia estándar. La determinación estandarizada de colores nos facilitó el comprender el diseño, la distribución de los hilados que lo conforman y también comparar con otros ejemplares similares. Además, esto nos permitirá evaluar a futuro posibles efectos de cambio o decoloración que pudiesen acontecer en función de sus condiciones de conservación [Tabla 1]:

Parte del textil	Color	Nomenclatura en carta Munsell
Cordón horizontal	marrón oscuro	HUE 10YR 2/1
Alma de los cordones verticales	beige	HUE 2.5Y 5/4
Cordones verticales	ocre	HUE 7.5 YR 4/6
	rojo	HUE 10R 3/4
	rojo oscuro (borde)	HUE 10R 3/6
	verde oscuro	1 For Gley 3/5G
	beige	HUE 2.5Y 6/4
	grafito	1 For Gley 2.5/10Y

**Tabla 1.-** Colores de la pieza textil según nomenclatura Munsell.

Gracias al conocimiento y registro de los colores presentes en la pieza se logró definir el diseño y disposición de los cordones de colores de la pieza, en donde el centro de la pieza presenta un diseño geométrico dado por 6 colores que embarrilan los cordones, con un eje vertical central que se divide en 2 campos espejados, con simetría vertical y horizontal, y con 2 colores opuestos. Aquí se aprecia un motivo geométrico complejo, inusual dentro del repertorio estilístico local y similar a lo que ha sido denominado como “meandro escalonado” (Carlson 2009; Solanilla 2019), compuesto por dos triángulos opuestos por el vértice que incorporan en su interior una figura como voluta de color ocre y en el centro tiene una división parecida a una letra T de color beige. A la vez, hay evidencia de que la pieza fue intervenida, dado que el hilado industrial que se usó es de algodón color marrón oscuro, similar al utilizado en el montaje de otras piezas del MNHN. Esto hizo posible prever que la pieza sufrió una alteración en el orden de la distribución de sus componentes originales, en este caso los cordones verticales, que estarían cambiados de su posición original.

#### —Interpretación arqueológica

Con el fin de comprender mejor el contexto y procedencia de la pieza analizada, procedimos a investigar la presencia de otras piezas análogas en colecciones museográficas, encontrando otras dos con la misma forma y estilo. La primera de ellas pertenece a la colección del Museo San Miguel de Azapa (MASMA) bajo el número de inventario 1557. Esta pieza clasificada como un “taparrabo” por el MASMA (1985), fue encontrada en 1959 en una tumba prehispánica durante unos trabajos de pavimentación del camino costero de Arica en el sector de Playa Miller. Gracias a la acción del personal del Museo Regional de Arica, la tumba pudo ser registrada con una metodología arqueológica y el hallazgo fue publicado por Percy Dauelsberg (1959). De acuerdo a la publicación, la tumba tenía una estructura de cista con muros de piedra pizarra, y en ella se encontraron los restos momificados de un hombre de avanzada edad envuelto en tejidos atados con fibra vegetal de totora y cubierto por un camión oscuro decorado con franjas. Al interior de la cubierta tenía un cuchillo de bronce en forma de medialuna tipo *tumi*, cuyo mango terminaba en una cabeza de llama modelada. En su cabeza, el individuo tenía un gorro de color oscuro; en la mano izquierda tenía tres anillos de plata; en el antebrazo derecho un brazaletes de oro y en sus trenzas tenía dos discos de oro. Como ajuar poseía un arco con un carcaj de flechas, arpones, dos cencerros y un vaso kero de madera, una honda, un tambor, una balsa de tres palos con un remo doble, dos flautas, un conjunto de anzuelos, catorce bolsitas con coca, maíz y harina de maíz, además de alfarería decorada de estilo local (Dauelsberg 1959).

Junto al individuo se encontraba enrollada una pieza textil, clasificada por Dauelsberg como un “mandil”, similar



**Figura 3.-** A) Ejemplar depositado en el MASMA (Museo Arqueológico San Miguel de Azapa); B) Ejemplar depositado en el MHNH (Museo de Historia Natural de Valparaíso).

a la que describimos en este artículo, tanto en tamaño como en técnica y decoración. Sus dimensiones son 36.5 cm de ancho por 45 cm de largo [Figura 3A], compuesta por 60 cordones embarrilados que presentan un diseño escalonado y simétrico (Dauelsberg 1959).

Si bien el ajuar general del individuo descrito ha sido asignado cronológicamente a un rango temporal del 1100 al 1470 d.C. coincidente con el período Intermedio Tardío (Ulloa 1981b), la presencia de un cuchillo tumi y el brazalete de oro lo asignan más bien al período Tardío, ya que dichos elementos son característicos y diagnósticos del imperio Inca, como bienes de prestigio utilizados para establecer relaciones políticas con élites locales (D'Altroy 2015; Garrido y Li 2017). La presencia de metales en época Inca en la región se manifiesta principalmente en el ámbito de la funebria, en conjunto con elementos de tradición local (Uribe y Sánchez 2016).

Otra pieza de características similares se encuentra en el Museo de Historia Natural de Valparaíso (MHNH) bajo el número de inventario 2261 [Figura 3B], pero desafortunadamente no tiene mayor información de contexto ni de procedencia. Esta pieza si bien presenta un mayor deterioro y su diseño es poco visible, tiene un motivo decorativo similar, formando una especie de T dentro de campos triangulares de colores rojo y verde oscuro. Esta pieza se compone estructuralmente de 55 cordones que van sostenidos por un cordón superior de color marrón y sus dimensiones son 32.5 cm de ancho por 40 cm de largo.

Ambas piezas son muy similares a nuestro ejemplar de estudio y tal como lo analizaremos en la siguiente sección, logramos determinar que si existe una correspondencia entre ellas.

#### —Determinación de la integridad del objeto

Durante todo el proceso de análisis estético, y documental surgió la posibilidad de que la pieza analizada hubiese sufrido un reordenamiento de sus cordones verticales. Esto podría suponerse debido a los cambios abruptos en su diseño, las roturas del cordón superior horizontal y las costuras o puntadas de unión con hilo industrial. Apoyados en la evaluación de los dos ejemplares similares, contrastamos su diseño por medio de la reubicación de los cordones con imágenes digitales sin arriesgar la pieza, lo cual además servirá para un futuro trabajo de restauración con una perspectiva holística que garantice su supervivencia en el tiempo, aplicando criterios como el uso de materiales compatibles y diferenciables del original, con mínima intervención, y reversibilidad (Brandt 1977; ICC 1999; Molinari *et al.* 2000).

Para evaluar la disposición de los cordones se utilizó una fotografía digital, donde los cordones fueron numerados de modo correlativo de izquierda a derecha. Luego, por medio de un programa de edición de imágenes se subdividieron una serie de grupos siguiendo las zonas de corte del cordón superior horizontal [Figura 4].

Esta técnica nos permitió evidenciar que había un patrón escalonado de cuatro cordones consecutivos y que en el centro se formaba la figura parecida a una letra T o posible insinuación de voluta o gancho que está reflejada verticalmente. Al reagrupar los grupos de cordones de la imagen, se logró ver un diseño con simetría horizontal y vertical, idéntico al de las otras dos piezas similares ya descritas. También se comprobó que el grupo de los cordones del número 41 al 50, van en sentido contrario, lo cual habría sido producto de una intervención anterior.



**Figura 4.**-Fotografía del faldellín 13.000 y cordón 13.170, con cordones numerados, agrupados según zonas de corte y reubicados.

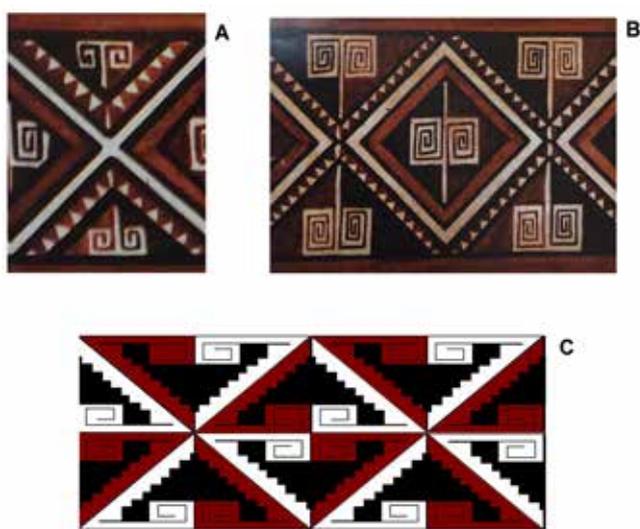
A la vez, fue posible reunir el fragmento textil con el número de registro 13.170, que corresponde a un cordón embarrilado con los mismos colores que la pieza 13.000, y se confirmó que es parte de la misma pieza al encontrar su posición dentro del diseño. El motivo decorativo final da cuenta de un triángulo con vértices opuestos y dividido por la mitad por una especie de T reflejada verticalmente, con divisiones de color ocre y verde oscuro. El espacio lateral de ambos lados genera otro espacio triangular, enmarcado en sus bordes por una serie de triángulos pequeños de color verde oscuro, formados cada uno por cuatro cordones verticales consecutivos, excepto en los bordes donde solo lo componen tres cordones, pues inmediatamente aparecen los cordones de orilla que llevan todos los colores (cordones 32 y 50). El cordón de la ubicación 52 parece no pertenecer a la pieza, al no contar con similares hilados, pues presenta desajustes de color en todos sus componentes y una distribución de ellos un tanto alterada, que si bien se probó en varias posiciones, no calza con el diseño. Al parecer, faltarían

solo dos cordones dentro de toda la secuencia del diseño del faldellín, quedando la distribución de la siguiente manera: 50 (orilla) al 41 - falta - 1 - cordón N° 13.170- 33 al 40 – 56 – falta – 54 – 55 – 2 al 18 - 51 – 53 – 19 al 32 (orilla).

Con los 2 cordones faltantes se completaría un faldellín que debería estar compuesto por 58 cordones. Como mencionamos previamente, el diseño es similar a la pieza del MASMA y a la del MHNV, solo que el diseño además presenta unas posibles volutas de color ocre, en cada uno de los 4 campos de colores rojo y grafito.

La distribución final del diseño presente en la pieza obedece a una figura geométrica con simetría vertical y horizontal, similar al meandro escalonado (Carlson 2009; Solanilla 2020), popularizado en Chile durante la época Inca. Este motivo se presenta también en la decoración alfarera de dicha época, siendo muy parecido a los diseños cuzqueños identificados

por Fernández bajo los números 542 y 543 [Figura 5 A y B] y descritos como “...rombos concéntricos interior y exteriormente ornamentados con figuras dentadas y líneas quebradas en forma de volutas pintadas de negro y rojo sobre fondo blanco o rojo” (Fernández 1971:201). Además este motivo comparte una gran similitud con el motivo de doble reflexión especular identificado en piezas Diaguita de fase Inca en la zona del Elqui al Choapa (González 2013:281) y en pucos Diaguita Inca presentes en el valle de Copiapó (Garrido 2018b:64; [Figura 5C], aunque en estos dos últimos casos el motivo en T central está en posición invertida respecto de aquel descrito por Fernández (1971). Dado lo anterior, creemos que es muy posible que esta pieza esté influenciada por la decoración cuzqueña durante la expansión del Tawantinsuyo hacia el norte de Chile, manifestada bajo un soporte textil de tradición local.



**Figura 5.-** Motivos de doble reflexión especular similares a nuestro caso de estudio. A y B, diseños Inca cuzqueños de alfarería números 543 y 542 en Fernández 1971:201. C, diseño presente en piezas Diaguita Inca en Copiapó y desde el Elqui al Limarí (González 2013:281; Garrido 2018b:64).

#### —Conservación preventiva

Respecto de las medidas de conservación preventiva, se determinó realizar una limpieza mecánica en seco y cambiarla de contenedor, pues los textiles son las piezas más sensibles a los agentes de deterioro derivados de malas condiciones de almacenamiento como el polvo, alta humedad ambiental, luz intensa, ataque de insectos, entre otros (Alvarado y Espinoza 1990; ICC 1999; Espinoza y Grützmacher 2002; Rose *et al.* 2019). Previo a esta intervención, el estado de conservación de la pieza era regular, presentando desgaste, resequedad generalizada y pérdida estructural, pues falta parte del hilado interior (almas) de los cordones y parte de los hilados de colores que los emmarcan.

Para asegurar su conservación, se fabricó una caja-carpeta (Figura 1B) de poca altura con tapa continua, hecha de cartón doble (de baja acidez), cubierto por una membrana de Tyvek® (tela de fibras de polietileno, no tejido, inerte, hidrófugo y que permite el intercambio de gases) utilizada para aislar la pieza y evitar el contacto directo con el cartón.

Antes de cambiarla de embalaje, se practicó una limpieza mecánica en seco. Para esto utilizamos un pincel de cerdas suaves sobre los cordones que componen la pieza, que se deslizó siguiendo el sentido de los hilados para retirar el polvo; luego se cortó el hilo industrial que la fijaba al soporte antiguo. Finalmente, la pieza se desplazó a su nueva caja-carpeta, y se terminó de desprender la etiqueta que tenía pegada sobre el soporte antiguo de cartón, ubicándola en un sobre de Myler® (film o lámina de poliéster transparente) en la parte externa de la nueva caja-carpeta de la pieza.

#### Discusión y Conclusión

Al abordar la historia de intervenciones y el contexto de una pieza textil que llevaba más de siete décadas en el museo, hemos logrado identificar y poner en valor un artefacto del cual existen solo dos símiles conocidos, permitiendo a la vez ahondar en su posible afiliación a la época de influencia incaica en el extremo norte de Chile. Todo aquello nos ha permitido darle un nuevo contexto, en donde esta pieza deja de ser un objeto aislado y pasa a ser parte de un conjunto más amplio que trasciende a la colección del MNHN.

Fue fundamental para lograr una comparación estilística satisfactoria el análisis de las intervenciones de costura realizadas con hilo industrial para fines de exhibición. Aunque no sólo mantenían fija la pieza en su soporte, también habían modificado su estructura física, alterando su patrón de diseño. Esto nos permitió recomponer su configuración, logrando el calce visual con otros ejemplares. Por otra parte, el haber encontrado el número de inventario de la pieza, que se hallaba poco visible en la parte posterior de su soporte, nos permitió saber su origen y recuperar su asociación junto a otros elementos que facilitaron su comparación e interpretación arqueológica.

Dado que esta pieza textil es muy poco frecuente en contextos de época prehispánica tardía, había sido clasificada como faldellín o taparrabo por analogía con otras piezas de épocas anteriores como los períodos Arcaico y Formativo. Sin embargo, hasta el momento no hay ningún indicio concreto de que aquella sea su función y además es evidente en diversos contextos arqueológicos que tal tipo de prenda cae en desuso desde los períodos Medio en adelante (Montt 2002; Casses y Montt 2013). Hasta el momento no sabemos si la prenda fue utilizada como insignia o como delantal, pero es muy posible que sea una expresión local de la iconografía del imperio Inca, tanto por su parecido con iconografía alfarera de dicho período, como a su vez por el antecedente de que en el contexto excavado por Dauelsberg (1959) albergado en el MASMA, dicha pieza acompañaba a un personaje que tenía un cuchillo *tumi* y un brazaletes metálicos, elementos comunes en élites locales como parte de los regalos obtenidos en la negociación de relaciones políticas con el imperio Inca.

Esperamos en el futuro poder profundizar los análisis de esta y otras piezas, estudiando los tipos de colorantes utilizados para obtener hilados de colores, la obtención de la fibra (crianza y cuidado de animales) y los patrones constructivos

para entrelazar las fibras que forman los diseños específicos de cada época y estilo que están presentes en las piezas textiles del museo. Todo aquello nos permitirá continuar agregando nuevos episodios a la biografía de los objetos de la colección del MNHN, en donde el trabajo de conservación y la interpretación arqueológica van de la mano y se nutren mutuamente en sus capacidades de reconstituir tanto la integridad física como documental de las colecciones museográficas.

### Agradecimientos

Agradecemos al equipo del MASMA, especialmente a Gustavo Espinoza, encargado de Colecciones Museo UTA, de la Universidad de Tarapacá; a Lilian López, encargada de Colecciones Patrimoniales y arqueológicas del MHN, y a la Dra. Helena Horta, por facilitarnos documentación y aportar datos relevantes para realizar este trabajo. También, al equipo del MNHN e investigadoras pasantes, por el constante apoyo y permanente colaboración.

### Referencias

ACEVEDO, N. (2010). "Recuperación de un objeto de fibra vegetal, de origen prehispánico (Norte de Chile)". *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural*, 59:105-109.

AGÜERO, C. (2002). "Textilería de los aborígenes de Arica: La colección Uhle del Museo Nacional de Historia Natural (Santiago de Chile)". *Gaceta Arqueológica Andina*, 26:171-191.

ALVARADO, I. y ESPINOZA, F. (1990). "Conservación Preventiva en Textiles". *Boletín Comité Nacional de Conservación Textil*, 1: 8-10.

ALBERTI, S. (2005). Objects and the Museum. *Focus-Isis*, 96: 559-571.

BRANDI, C. (1977). *Teoría de la restauración*. Madrid: Alianza Editorial.

CAPLE, C. (2012). *Preventive Conservation in Museums*. Oxford: Routledge.

CAPLE, C. (2021). "Introduction: The Challenges of Archaeological Conservation". En: *Studies in Archaeological Conservation*, C. Caple, y V. Garlick (eds). Oxon: Routledge, 14-34.

CARLSON, U. (2009). "Iconografía Andina. Interpretación del simbolismo en antiguos tejidos peruanos" *Boletín de Lima*, 158: 21-63

CASES, B. y MONTT, I. (2013). "Las túnicas rupestres pintadas de la cuenca media y alta del Loa vistas desde Quillagua (norte de Chile)". *Chungara*, 45(2): 249-275.

Centro de Documentación de Bienes Patrimoniales (CDBP) (2021). *Manual de Documentación de Colecciones Patrimoniales*. Santiago: SERPAT.

D'ALTROY, T. (2015). *The Incas*. Malden: John Wiley & Sons.

DAULSBERG, P. (1959) "Tumba Encistada de Playa Miller (Arica)". *Boletín del Museo Regional de Arica*, 1:88-108.

ESPINOZA, F. y GRÜZMACHER, M. (2002). *Manual de Conservación Preventiva de Textiles*. Santiago: Comité Nacional de Conservación Textil.

FERNÁNDEZ, J. (1971). *Motivos de ornamentación de la cerámica Inca-Cuzco*. Lima: Librería Studium editores.

FRIBERG, Z. y HUBILA, I. (2019). Using object biographies to understand the curation crisis: lessons learned from the museum life of an archaeological collection, *Museum Management and Curatorship*, 34(4):362-382.

GANGER, S. (2014). *Relics of the Past. The Collecting and Studying of Pre-Columbian Antiquities in Peru and Chile, 1837 – 1911*. Oxford: Oxford University Press.

GARRIDO, F. (2018 a). "Estado e infraestructura cultural: contradicciones, desafíos y agencia en la creación de una identidad país a través del Museo Nacional de Historia Natural (siglo XIX)". *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural*, Chile, 67(1):1-9.

GARRIDO, F. (2018 b). "Los nuevos sujetos imperiales del valle de Copiapó: estilos Diaguita e Inca local en los pucos del período Tardío regional". *Estudios Atacameños*, 60:51-76.

GARRIDO, F. y LI, T. (2017). "A handheld XRF study of Late Horizon metal artifacts: implications for technological choices and political intervention in Copiapó, northern Chile". *Archaeological and Anthropological Sciences*, 9:935-942.

GONZÁLEZ, P. (2013). *Arte y cultura diaguita chilena: simetría, simbolismo e identidad*. Sociedad Chilena de Arqueología. Santiago: Ucajali editores.

HORTA, H. (2015). *El señorío Arica y los reinos altiplánicos (1000-1540 d.C.) Complementariedad ecológica y multiétnicidad durante los siglos pre-conquista en el norte de Chile*. Santiago: Ocho Libros Editores.

Instituto Canadiense de Conservación (ICC) (1999). *Notas del ICC*. Santiago: DIBAM.

KAJITANI, N. (1993). "Cuidados de los tejidos en el Museo". *Boletín Asociación para la conservación cultural del patrimonio de las Américas*, 4(1):61.

KAULICKE, P. (1998). *Max Uhle y el Perú antiguo*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Libros de Registros del Área de Antropología. Manuscritos. Santiago: MNHN. MATE DE LUNA, L. (1921). "Sección Informativa Técnica Comercial". *Anales del Instituto de Ingenieros de Chile*, 6:366-375.

Ministerio de Relaciones Exterior, Culto y Colonización. (1906). *Boletín del Ministerio de Relaciones Exterior, Culto y Colonización* Julio a diciembre. Santiago: Imprenta Barcelona.

MATUS, L. (1916). "Las colecciones existentes en la sección de Antropología i Etnología del Museo Nacional". *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural*, 9:134-140.

MARTÍNEZ, L. (2002). Documentando colecciones arqueológicas. Dos casos de estudio en el Museo de América. *Anales del Museo de América*, 10: 267-290.

MOLINARI, R., FERRARO, L., PARADELA, H. et al. (2000). Odisea del manejo: conservación del patrimonio arqueológico y perspectiva holística. En: 2do Congreso Virtual de Antropología y Arqueología. EquipoNAYa-2000. [https://equiponaya.com.ar/congreso2000/ponencias/Roberto\\_Molinari2.htm](https://equiponaya.com.ar/congreso2000/ponencias/Roberto_Molinari2.htm)

MONTT, I. (2002). "Faldelines del Período Formativo en el Norte Grande: Un ensayo acerca de la historia de su construcción visual". *Estudios Atacameños*, 23:7-22.

MOORE, E. (1914). Memoria Presentada al Señor Ministro de Instrucción Pública por El Director del Museo Nacional. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural*, 7:5-12.

MOSTNY, G. (1961). "Las Ciencias Antropológicas en el Museo Nacional de Historia Natural" *Noticiero Mensual del Museo Nacional de Historia Natural*, 56 y 57.

MUÑOZ-CAMPOS, P. (2004). "Conservación y Almacenamiento de Tejidos. Problemas múltiples, soluciones prácticas". *Revista de la Subdirección General de Museos Estatales*, 0:72-79.

NAGEL, L. (Ed.) (2008). *Manual de Registro y Documentación de Bienes Culturales*. Santiago: DIBAM.

RAMON, G. (2005). "Periodificación en arqueología peruana: genealogía y aporía". *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 34(1):5-33.

ROSE, C., HAWKS, C. y WALLER, R. (2019) "A Preventive Conservation Approach to the Storage of Collections" En: *Preventive Conservation: Collection Storage*, Elkin, L. y Norris, C. (eds.). Washington D.C.: American Institute for Conservation, 43-55.

SHELL, P. (2013). *The Sociable Sciences: Darwin and His Contemporaries in Chile*. New York: Palgrave Macmillan.

SCHIFFER, M. (1991). "Los Procesos de Formación del Registro Arqueológico" *Boletín de Antropología Americana*, 23:39-45

SOLANILLA, V. (2020). "Signos comunes en los textiles Andinos y los Mesoamericanos". En *Jornadas de Textiles Precolombinos VIII*, Bjerregaard, L. y Peters, A. (eds.). Lincoln: Zea Books, 202-213.

UHLE, M. (1922). *Fundamentos Étnicos y Arqueología de Arica y Tacna*, 2da. Edición. Quito: Imprenta de la Universidad Central.

ULLOA, L. (1981 a). "Evolución de la industria textil Prehispánica en la Zona de Arica". *Chungará*, 8: 97-108

ULLOA, L. (1981 b). "Estilos Decorativos y Formas textiles de poblaciones agromarítimas en el extremo norte de Chile". *Chungará*, 8: 109-136

URIBE, M. Y SÁNCHEZ, R. (2016). "Los Incas en Chile. Aportes de la

arqueología chilena a la historia del Tawantinsuyu". En: *Prehistoria en Chile. Desde sus primeros habitantes hasta los Incas*, Falabella, F., Uribe, M., Sanhueza, L., Aldunate, C. e Hidalgo, J. (eds.). Santiago: Editorial Universitaria, 529-572.

VALENZUELA, C. y GARRIDO, F. (2023). "Historias Naturales, expediciones, redes globales y Museos de Historia Natural en Chile (siglos XVIII-XIX)". *Revista de historiografía*, 38: 69-90.

## Autor/es



**Yasna Sepúlveda Guaico**

[yasna.sepulveda@mnhn.gob.cl](mailto:yasna.sepulveda@mnhn.gob.cl)

Museo Nacional de Historia Natural. Chile

<https://orcid.org/0009-0004-6995-4424>

Ingeniera textil por la Universidad de Santiago de Chile y con Postítulo en Restauración en la Universidad de Chile, socia del Comité Nacional de Conservación Textil. Es administradora de colecciones arqueológicas y etnográficas del Museo Nacional de Historia Natural, trabaja en el manejo de colecciones con énfasis en la documentación y registro, ciencia de los materiales y especialmente en el análisis de textiles arqueológicos. Con experiencia en proyectos de arqueología, investigación, conservación y restauración de textiles patrimoniales.



**Francisco Garrido**

[francisco.garrido@mnhn.gob.cl](mailto:francisco.garrido@mnhn.gob.cl)

Museo Nacional de Historia Natural. Chile

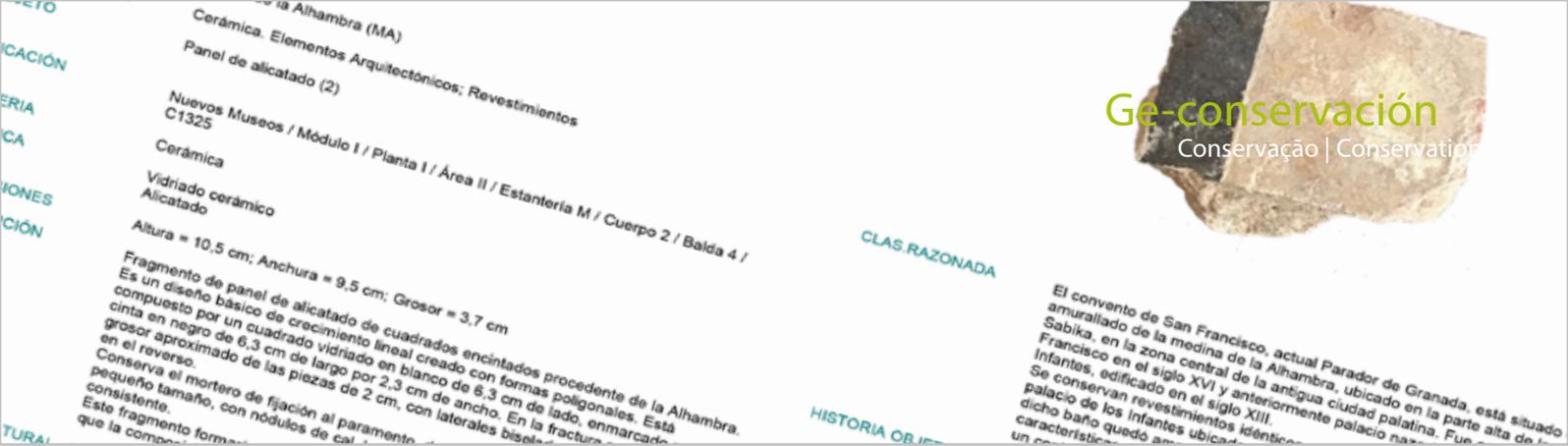
<https://orcid.org/0000-0001-8979-2670>

Arqueólogo por la Universidad de Chile y con un doctorado en Antropología con especialización en arqueología en la Universidad de Pittsburgh, USA. Es curador de Arqueología del Museo Nacional de Historia Natural y profesor a honorarios en la Pontificia Universidad Católica. Sus principales temas de investigación son las sociedades complejas, con especial énfasis en la relación entre imperios y las respuestas de las sociedades locales. Ha trabajado sobre la temática Inca en el norte de Chile, minería prehispánica y producción metalúrgica, además de la integración de las sociedades indígenas locales al imperio español. En otra línea de trabajo ha desarrollado estudios sobre historia de la ciencia y la tecnología, además de tópicos sobre historia de la arqueología, coleccionismo y museos.

Artículo enviado 08/02/2024  
Artículo aceptado el 12/04/2024



<https://doi.org/10.37558/gec.v25i1.1299>



# The Alhambra Museum: History, Conservation and Management of its tile and tiling mosaic collections

Danielle Dias Martins

**Abstract:** The documentation of the collections is a fundamental step towards the conservation of cultural heritage. It is a complicated process that involves several phases closely related to the different stages of the artefacts in a museum: from their acquisition, registration, inventory, cataloguing, conservation, maintenance and exhibition to their communication. The information presented in this document aims firstly to provide a better understanding of the different phases of the objects in the specific context of the Alhambra Museum, in addition to comply with the communication purpose that is inherent to the knowledge and necessary for the recognition and appreciation of historical objects. The main objective of this research is to analyse the evolution of the Alhambra Museum and its collection, especially focusing on the tile and tiling mosaics that, although they are part of the most emblematic and distinctive typologies of the palatine city, have not had the chance to be available to the scientific-academic community.

**Keywords:** Alhambra Museum, collections, architectural ceramic, tiles, tiling mosaics, conservation-restoration, cultural heritage

## El Museo de la Alhambra: Historia, Conservación y Gestión de su colección de azulejos y alicatados

**Resumen:** La documentación de las colecciones es un paso primordial hacia la conservación del patrimonio cultural. Es una tarea compleja que contempla diversas fases estrechamente relacionadas con las diferentes andaduras de los objetos desde su adquisición, registro, inventario, catalogación, conservación, mantenimiento, difusión y divulgación. La información presentada en este documento pretende proporcionar una mayor comprensión sobre las distintas fases de los objetos en el entorno museístico específico del Museo de la Alhambra, cumpliendo además con el propósito divulgativo inherente al conocimiento y necesario para el reconocimiento y la valoración de los objetos históricos. El objetivo principal de esta investigación es el de analizar el proceso evolutivo del Museo de la Alhambra y de su colección, centrándose especialmente en los objetos de azulejería y alicatado que, si bien forman parte de las tipologías más emblemáticas y reconocibles de la ciudad palatina, aún no han tenido suficiente oportunidad de ponerse a disposición de la comunidad científico-académica.

**Palabras clave:** Museo de la Alhambra, colecciones, cerámica arquitectónica, azulejos, alicatados, conservación-restauración, patrimonio cultural

## O Museu de Alhambra: História, conservação e gestão da sua coleção de azulejos e alicatados

**Resumo:** A documentação de coleções é um passo essencial para a conservação do património cultural. Trata-se de uma tarefa complexa que envolve várias fases estreitamente relacionadas com as diferentes etapas dos objetos, desde a sua aquisição, registo, inventário, catalogação, conservação, manutenção, difusão e divulgação. A informação apresentada neste documento visa, em primeiro lugar, melhorar a compreensão das diferentes fases dos objetos no ambiente museológico específico do Museu de Alhambra, para além de cumprir o propósito de divulgação, inerente ao conhecimento e necessário ao reconhecimento e valorização dos objetos históricos. O principal objetivo desta investigação é analisar o processo evolutivo do Museu de Alhambra e da sua coleção, com especial atenção nos azulejos e alicatados que, embora façam parte das tipologias mais emblemáticas e reconhecíveis da cidade palatina, ainda não tiveram a devida oportunidade de serem disponibilizados à comunidade científico-académica.

**Palavras-chave:** Museu da Alhambra, coleções, cerâmica arquitetónica, azulejos, alicatados, conservação e restauro, património cultural

## Introduction

The documentation of the collections is a fundamental step towards the protection and conservation of cultural heritage. It allows a better understanding, interpretation, and management of collectible objects, envisioning the correct functioning of museums and responding to the academic and research interests currently regulated by heritage protection rules. It is a complicated task that includes several phases closely related to the different stages of the objects, from their acquisition to communication.

The information presented in this document aims to provide a better understanding of the different phases of the objects in the specific context of the Alhambra Museum, also complying with the communication purpose that is essential for the conservation and recognition of the cultural heritage. Therefore, the main objective of this research is to analyse the evolution of the Alhambra Museum and its collection, especially its tile and tiling mosaic pieces, which unfortunately are still unknown to the scientific-academic community.

## General context

There is a large corpus of documents on conservation of architectural heritage: letters, recommendations, and rules that constitute a testimony on the consolidation of the criteria related to its safeguarding. Some events occurred in twentieth century, especially the destruction caused during the Second World War, highlighted the need for an international legal protection system, which has been developed intensively throughout the XX-XXI centuries closely linked to the creation of international organizations such as UNESCO, ICOM, ICOMOS, etc. (Korro, Zornoza-Indart and Valle-Melón 2023: 22).

Spanish national and regional legislation includes the main international postulates also regarding heritage assets in a museum environment. Significant examples can be provided: first, through the definition of these institutions in the Spanish Historical Heritage Law 16/1985, which is transferred almost literally from the ICOM Statutes; and through the Law 8/2007 on Museums and Museum Collections of Andalusia that defines the collections, regulates the document management system of museums and museum collections, and reiterates the previous Law of Museums 2/1984. This previous law highlighted the idea incorporated in 1984 by the International Movement for a New Museology (MINOM-ICOM) that expands the content from collections to the tangible and intangible assets in heritage sites and complexes open to visitors and with economic development (Troitiño Vinuesa 1998: 95-96). It is worth mentioning, in the specific case of the Alhambra and Generalife, its inscription on the World Heritage List by UNESCO this same year (1984), and the declaration of this heritage complex as *Bien de Interés Cultural* through Decree 107/2004.

Inside scientific-academic panorama, the attention on architectural ceramic objects is awakened already from the

early 21st century. In Spain this new perspective is directly related to the development of Archaeology from the second half of the twentieth century that, despite the fact that they are related mostly to order, catalogue, and classification of ceramic objects of daily or common use, they constituted the foundations on which the investigations are based today.

A series of publications arise that contributed to the knowledge of ceramic materials from the first archaeological excavation carried out in Granada which allowed the cataloguing, at first merely documentary, of the different objects found in *Madinat Ilbira* (Gómez-Moreno González 1888: 7-13). For example: the works on the remains found in *Medina Azzahra* and *Alamiriya* in 1923 (Velázquez Bosco 1923: 21-27); the memories of the excavations of Mesas of Villaverde in 1927 (Mergelina 1927: 25-28); the catalogue and inventory "Art in Spain" that refers to the Barcelona International Exhibition in 1929 which exceptionally presented various examples of tiles and tiling mosaics from the Alhambra Muslim period (Gómez-Moreno 1929: 218-219, 224-226); and specially, the complete volume on "Almohad, Nasrid and Mudejar Art" published in 1949 that portrays not only the importance of architecture in these historical periods, but also reflects a detailed study on ceramic coatings, considering also the description of some tile decorative techniques such as painted, *cuerva seca* and *arista* (Torres Balbás 1949: 55, 176-181, 363-368).

The appreciation of ceramic materials contextualized in an architectural environment will be shown several years later by publications such as: "Azulejo Sevillano" (Pleguezuelo Hernández 1989); "Elementos arquitectónicos y decorativos nazaríes en el arte mudéjar aragonés" published in two parts (Cabañero Subiza 2004; Alvaro Zamora 2004); "Cerámica arquitectónica en el mudéjar granadino" (Gómez-Moreno Calera 2005); "La Torre de *Abu-l-Hayyay* o del Peinador en época nazarí: orígenes históricos y estudio arquitectónico" (Gómez-Moreno Calera 2007); "Los alicatados del baño de Comares de la Alhambra" (Díez Jorge 2007); "La cerámica arquitectónica: su conservación y restauración" (Ferrer Morales 2007); "Estudio de la azulejería de las provincias de Ávila, Valladolid, León, Zamora y Salamanca" divided into two volumes (Moratinos García 2016; Moratinos García 2019); "The Alhambra: Transformation and Change through Architectural Ceramics" (Díez Jorge, Barrera Maturana and Jiménez Díaz 2018); and finally, the most complete publication on the Alhambra architectural ceramics "Hecha de barro y vestida de color: Cerámica arquitectónica en la Alhambra", published in two volumes under a multidisciplinary scientific perspective (Díez Jorge 2022).

Likewise, it is regrettable that most publications have not value enough the Muslim architectural ceramics from twelfth to fifteenth centuries, those known after all for the examples located *in situ* and those recovered from archaeological excavations, that have been kept almost totally unknown in the palatine city (Torres Balbás 1939: 409-413). The problem may lie in the monument complexity itself, and maybe in the extraordinary number of stored objects that are still waiting for inventory, cataloguing, and scientific studies.

## The Alhambra Museum and its collection

The idea of forming public museums is a consequence of the “collecting trend” that originates in Ancient Greece and resurfaces in the beginning of the Renaissance. Paul II was responsible for initiating it in Italy, on one hand, building the Venice Palace as a gallery to exhibit his collection (which later allowed the opening of the first public museum - the Capitol Museum), and on the other, expanding the concept to other places (Jokilehto 1986: 34).

Although the origins of the collections generally precede the creation of museums, their evolution is directly related. In Alhambra’s specific case, the preservation of historical objects is also linked to the development and material history of the Nasrid monument, which has been naturally feeding these collections due to the accumulation of objects that existed there or were recovered from interventions and excavations works carried out in the palatine city (Torres Balbás 1944: 236-237).

From the Christian conquest in 1492 until shortly after the Revolution of 1868, the Alhambra and Generalife palatine city has belonged to the Crown. From October 1868 this monumental complex became part of the Spanish State Artistic Heritage, which granted its custody and conservation to the Provincial Commission of Monuments of Granada also declaring it a National Monument in 1870 (de Paula Valladar, de Paula Góngora and Conde de las Infantas 1907).

The Provincial Commission of Monuments of Granada since its first meeting at the end of 1869 pointed out its concern to gather in a single space several archaeological objects, architectural remains and other unique Islamic affiliation pieces, that until then were scattered throughout several chambers of the Nasrid palace (Villafranca Jiménez 1998: 201). In 1873, once all the objects were gathered, Rafael Contreras, president of the commission, was responsible for writing the first catalogue related to the palatine city objects. This document consisted of a list of objects which amounted to 656 pieces grouped into 44 sections that he identified as a “List of ancient objects containing the room destined for them, between the *“Patio de los Leones and the Sala de las dos Hermanas”* (Granada, Archivo de la Alhambra, Leg. 311).

This duly documented collection, already known as *musello* (that literally means small museum), received the name of Alhambra Museum of Antiquities, and marked what would be the spontaneous basis of the actual museum (Bermúdez López 1995: 72-73). Several ceramic objects were part of this initial group, in which a large number of pieces can be highlighted “453 pieces of varnished tiles and clay, Arab ceramics, and fragments of the tiling mosaics of various forms and fabrications made for the Arab monuments of Granada, from the first constructions in the Mohammedan invasion to the restorations of this kind of work made in the last century”, following the description of Rafael Contreras (Granada, Archivo de la Alhambra, Leg. 311 section 43).

In this first stage as Alhambra Museum of Antiquities, the figure of Gómez-Moreno González will be overriding as an active

secretary of the Commission of Monuments of Granada and a great specialist in Islamic art (Villafranca Jiménez 1998: 203). He proposed, in 1885, the Carlos V Palace as the ideal location to house the “Arab-Spanish museum”, and initiated the first remarkable research and restorations, especially focused on tiling mosaics panels, which until then were unrated. In his words: “It is a necessity of our days the creation of an Arab-Spanish national library and museum, where everything related to the time of Arab domination in Spain could be studied and kept, and where reproductions of the buildings of this period of our history, national or from other places, could be gathered. Granada, which contains the most extraordinary of the Arab monuments, famous throughout the world, is the appropriate environment for the creation of an institution like this, and no other place meets the conditions of security, isolation, and proximity to the fortress such as the Carlos V Palace” (Gómez-Moreno González 1885: 42).

On 14 July 1889, a Royal Decree signed by Regent Queen María Cristina was published, assigning the eastern part of the Carlos V Palace to the Fine Arts and Archaeological Museums, and incorporating “the objects that are preserved in the small museum” in it (Revilla Uceda 1995: 24). However, in 1890 Francisco Valladar made public that “the collection of the *Musello* was not numerous enough for this purpose although something has already been advanced in favour of converting the Carlos V Palace into an archaeological museum” (de Paula Valladar 1890: 149). In 1920 the “General Plan of Conclusion of the Carlos V Palace” written by Velázquez Bosco reiterates the proposal of rehabilitating this Palace in order to house the museum, and after a long period full of disagreements, with the arrival of Leopoldo Torres Balbás (1923-1936), the idea finally received its ultimate impulse (Bermúdez López 1995: 78-79).

The first museography task performed by Torres Balbás will be the classification of the collections, especially considering the “reason of their material and their destination” (Torres Balbás 1944: 239). Meanwhile, the House of the Governors of the Alhambra and some adjoining rooms were transformed into an “authentic museum laboratory”, where not only showcases were built to exhibit small objects, but also restorations were carried out (Villafranca Jiménez 1998: 205). These works marked the content of the Alhambra Museum conceptually until today as an Art and Archaeology collection, characterized by unique pieces of great historical and technical value, especially from the Nasrid period (Pérez López, Moreno León and Sánchez Gómez 2022: 346).

As a result of the Spanish Civil War (1936-1939) important changes came to light affecting the management of the Nasrid monument and the Museum that depended on it. For example, Torres Balbás was dismissed, and Prieto-Moreno was hired to substitute him. During the first years Prieto-Moreno would faithfully follow the direction marked by his predecessor, as well as the General Plan drafted by Velázquez Bosco (Villafranca Jiménez 1998: 210).

On 9 March 1940, by the Royal Decree of Ministry of Education, the *Patronato de la Alhambra y Generalife* was created with the purpose of installing a museum in Carlos V Palace (Marinetti Sánchez 1995: 185). The *Patronato* continued studying and

cataloguing its collections since its official constitution on 24 May 1940, and a year later, at its second meeting, the *Patronato* agrees to proceed to “classify, paste and order, as soon as possible, the pots and remains” that founded the Alhambra Museum (Bermúdez López 1995: 82).

A Ministerial Order was approved in August 1942, with the intervention of the *Patronato* and the help of Gómez-Moreno. This document stated the incorporation of the Museum to the Facultative Body of Archivists, Librarians and Archaeologists under the name of Alhambra Archaeological Museum, which implied its inclusion in the Spanish State Collections (Marinetti Sánchez 1995: 185). The General Archaeological Museums Inspection and the Directorate of the Alhambra Archaeological Museum were entrusted to Joaquín María de Navascués and Jesús Bermúdez Pareja respectively, whose tasks include the regrouping, cleaning, classification, study, restoration, and the reconstruction of the museum storages (Pérez López, Moreno León and Sánchez Gómez 2022: 347). These works continued during the next twenty years, additionally allowing the consolidation of a new museum based on the study and research, fully adapting it to the new circumstances, and progressively improving the technical treatment of the collections, warehouses, and restoration workrooms (Villafranca Jiménez 1998: 214-217).

Meanwhile the museum collections were growing, first because the increase in the number of excavations, secondly because of the multiplication of purchased objects, and finally due to the donations received during the twentieth century (Marinetti Sánchez 2017: 288). Such was its growth that everything previously organized began to require attention: there were a large number of accumulated objects, the exhibitions were dispersed in three rooms of the Palace of Charles V and, to get things worse, an earthquake hit Granada on 18 April 1951 causing considerable cracks in many rooms of the museum. These factors prompted a complete overhaul and readaptation of the museum spaces, and led to the organization of conferences, guided tours, and temporary exhibitions. In addition, the museum incorporated: an archive, a specialized library, a photographic laboratory, and a workroom for delicate repairs, something that projected more importance and notoriety to it (Bermúdez López 1995: 86).

Those last circumstances led the National Education Ministry General Directorate to requalify the Alhambra Archaeological Museum as a national museum. Thus, on 13 December 1962, this organism approved the creation of the Spanish-Muslim Art National Museum, whose direction and administration were mainly entrusted to the *Patronato de la Alhambra* (Bermúdez Pareja 1968: 155). Likewise, and under the instructions set by Navascués, the work of registration and classification of the material continued, especially considering a formal, artistic, and chronological criteria. Study and restoration tasks continued as well, and important changes were also introduced in the conservation, storage, and packaging system of the objects (Pérez López, Moreno León and Sánchez Gómez 2022: 349).

In 1967 was proposed the idea of concentrating all the existing museums in Granada (Archaeological, Fine Arts and Spanish-Muslim Art National Museum) in a single museum with different sections. They would be located in the *Huerta de Fuentepeña*, a set of gardens and buildings next to the Generalife (Bermúdez Pareja 1968: 158). Meanwhile, the Royal Decree of 28 February 1984 transferred functions and services from the Central State Administration to the Autonomous Community of Andalusia, where all public museums and the National Museum of Hispano-Muslim Art should be managed. (Bermúdez López 1995: 90-91). Later, the Decree 59/1986 of 19 March approved the Statutes of the *Patronato de la Alhambra y Generalife*, adapting them to the new country administrative structure, and allowing them to request the incorporation of the Spanish-Muslim Art National Museum, now under the name of Alhambra Museum, as an autonomous institution with an independent economic endowment (Ministry of Culture and Patronato de la Alhambra y Generalife 1986: 159-169).

It was in 1994 when the museum was finally renamed to Alhambra Museum, and its direction was assumed by the director of the *Patronato* Mateo Revilla Uceda, who immediately made some outstanding exhibitions (Revilla Uceda 1995: 25-29). In 1995 a permanent exhibition was finally open to the public. It consisted of seven differentiated spaces located in the South part of the ground floor of the Carlos V Palace. Between 1994-1995, the archives, library, warehouses, and offices of the Fine Arts Museum are moved to the “New Museums Building”, currently called *Fuentepeña* Building, unifying all institutions in that location. Among 1999-2001 half part of the Alhambra Museum’s collection was also unified, moving the objects from the east part of its previous headquarters called “Old Museum” to the first floor of the *Fuentepeña* Building, where many objects were collected, organised, and their information could finally be digitalised. (Pérez López, Moreno León and Sánchez Gómez 2022: 349-350). Recently, in August 2023, the second part of the collection that had remained in the “Old Museum” since 2001 has been moved, unifying the museum holdings in the same definitive and suitable location for the first time.

### **The tiles and tiling mosaics in the collection of the Alhambra Museum**

As analysed previously, the Alhambra Museum has been marked as an Archaeological and Art collection, with unique pieces of great historical, artistic, and technical value, that were collected through different methods such as deposits, purchases, donations, and mainly from excavations or conservation works achieved in the palatine city. In this context, at the exhibition rooms there are pieces mainly from the Nasrid period with an extraordinary historical, artistic, aesthetic, and technical value, while in the storerooms, valuable pieces remain for material, technological and chronological research. (Pérez López, Moreno León and Sánchez Gómez 2022: 350).

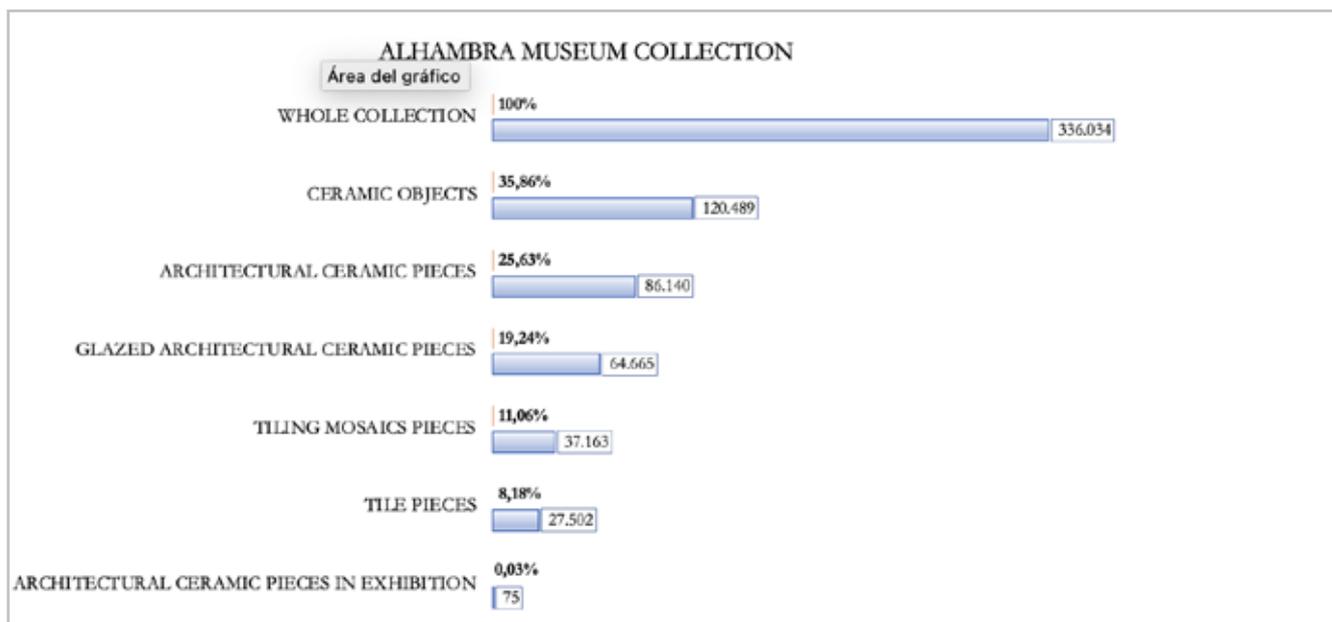
According to the information collected in the Alhambra Museum’s inventory and cataloguing database, as specified in

[Figure 1], nowadays around 336.034 different pieces are kept in the museum’s collection, 120.489 of them are ceramic pieces, approximately 86.140 correspond to architectural ceramics objects, 64.665 of these architectural pieces are glazed, 37.163 refer to tiling mosaic pieces, 27.502 are associated with tile pieces, and 75 are distributed in permanent exhibition rooms (DOMUS database on 29-08-2023).

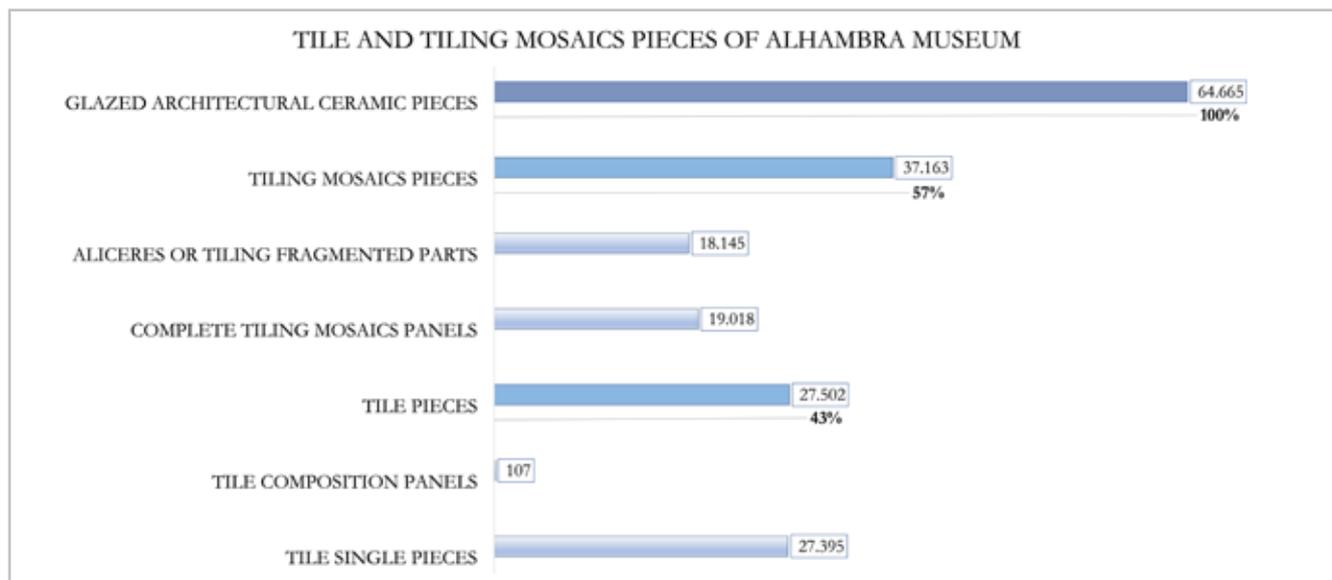
single pieces (called *aliceres*) or fragmented parts of compositional panels joined by mortar and preserved with their original characteristics, and 19.018 are complete tiling compositional panels which were originally preserved or intentionally restored with exhibition purpose; also, the sum of 27.502 tiles, 107 corresponds to tile composition panels, and 27.395 are tile individual pieces (DOMUS database on 29-08-2023).

Furthermore, as shown in [Figure 2], from the content related to the 37.163 pieces of tiling mosaics, 18.145 of them correspond to

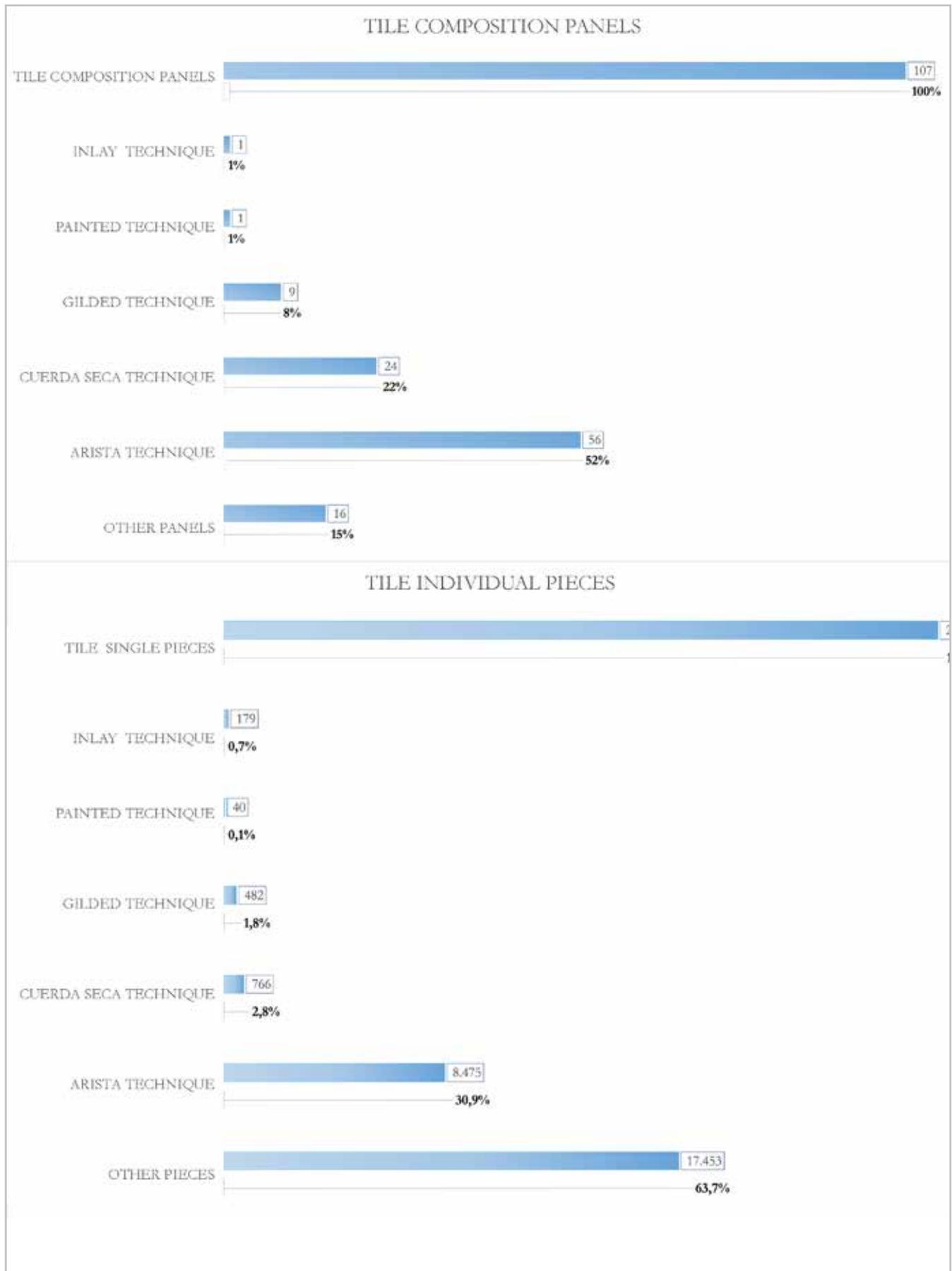
Besides that, as presented in [Figure 3], the tile objects inside Alhambra Museum collection are mainly classified considering



**Figure 1.-** According to DOMUS database until 29 August 2023 there are 336.034 objects stored in Alhambra Museum. 25% of this collection correspond to architectural ceramic pieces, 19% of them are glazed pieces, 11% refer to tiling mosaics pieces, 8% are associated with tile pieces, and just a 0,03% are available in the permanent exhibition.



**Figure 2.-** According to DOMUS database, until 29 August 2023, 57% of the glazed architectural objects correspond to tiling mosaics pieces and 43% correspond to tile pieces. These two typologies are also divided into single pieces and compositional panels groups. The amount of tiling mosaic single pieces (18.145) is similar to the number of tiling mosaic panels (19.018). Meanwhile, there is a remarkable difference between tile single pieces (27.395) and tile composition panels (107). The main reason for the latter lies in the fact that the fabrication of tile panels was not very common.



**Figure 3.-** Tile objects techniques found in Alhambra Museum collection. A great number of the collection corresponds to *arista* and *cuerva seca* tile technique pieces.

their decorative techniques. From the amount of 27.502 decorated pieces associated with the tile category it is possible to identify: 107 compositional panels, of which 1 corresponds to the inlay technique, 1 to the painted technique, 9 to the gilding technique, 24 to the *cuerda seca* technique, and 56 to the *arista* technique; and from the total of 27.395 individual pieces, 179 belong to the inlay classification, 40 to the painted one, 482 to the gilded, 766 to the *cuerda seca*, and 8.475 to the *arista* classification (DOMUS database on 29-08-2023). Due to exceptional circumstances related to standard terminology, the DOMUS database does not allow to specify the number of pieces made using the relief technique. However, based on a manual search of the stored relief pieces, we can estimate at least 250 objects, which amount is included in "Other pieces" section in [Figure 3].

### Catalogue and inventory of the tile and tiling mosaics pieces of the Alhambra Museum

In 1942, the writing instructions for creating a General Inventory of Catalogues and Records showed up, with the ambition of unifying the documentation of the objects preserved in all Spanish State Museums served by the Facultative Body of Archivists, Librarians and Archaeologists. Thus, the works on cataloguing the Alhambra Museum collections began, first in accordance with the instructions set up before by Joaquín María Navascués, but also following this official rule that, at that point, was based on an "Unitary Registration" process. This process consisted of a single registration number that was correlated by a serial numbered entry book and a triple card system called "General Inventory, Systematic Catalogue and Monographic Catalogue". (Pérez López, Moreno León and Sánchez Gómez 2022: 347). This old system, which has been kept for more than 60 years as a standard method, proposed the ordering of the collections according to their nature but also emphasizing the historical, artistic, and archaeological attribute of each object.

In 1993 an organism called *Subdirección General de Museos Estatales* undertook a project of "Documentary Standardization" of Spanish Museums (Carretero Pérez 2005: 20). This project resulted from a diagnostic report on the state of the question in documentation in museums. This report highlighted the disparity of situations, the diversity of work systems and the lack of common criteria, all of which increased the discrepancy of information between museums. In 1996 the Ministry of Culture prepared a new report that included the "elements for a computer application of museography management" in order to define and unify the documentation processes (Secretaría de Estado de Cultura 1998: 9-44). In 2003 this system began to be implemented in all Andalusian State Museums under the name of *Sistema Integrado de Documentación y Gestión Museográfica* or DOMUS (Pérez López, Moreno León and Sánchez Gómez 2022: 352).

DOMUS is an integrated documentation and management system, developed in software version by the Spanish Ministry of Culture, which included all areas of a museum

management, such as economic, administrative, collections, documentary and bibliographical, exhibitions, conservation, etc. It was implemented in Alhambra Museum in 2005 and contributes by facilitating the access to researchers, primarily considering that the collections are distributed in different spaces with not so easy physical access: the permanent exhibition at Carlos V Palace that has about 397 different pieces and the reserved area at *Fuentepeña* building where approximately 336.034 objects are sectorized according to their material supports (Pérez López, Moreno León and Sánchez Gómez 2022: 342).

There are two phases in the registration process: the inventory and the catalogue, their differences lie basically in the specific information presented in each one. This differentiation is specified by the Royal Decree 620 of 10 April 1987 which describes both as a technical-scientific instruments that together represents the complete description of each artefact: "the inventory aims to identify in detail the museum collections, referencing their scientific and artistic significance, and their topographical location; meanwhile, the purpose of the catalogue is to document and study the museum's holdings in relation to their artistic, historical, archaeological, scientific or technical framework. In addition, the catalogue must contain information about the conservation, treatments, biography, bibliography, and other similar aspects relating to each piece" (Real Decreto 620/1987 artículo 12).

The cataloguing and inventorying of architectural ceramic pieces in Alhambra Museum require a much more systematized and hierarchical documentation. This is currently accessible through the DOMUS system since it allows to include a great number of variables and records based on correlative numbers of easy searching (Pérez López, Moreno León and Sánchez Gómez 2022: 353). The documentation is presented in a series of pre-income, income, conservation, graphic documentation, movements, temporary entries, and consulting forms as illustrated in [Figure 4].



**Figure 4.-** Domus system screenshot that shows the different forms related to the cataloguing and inventory of architectural ceramic pieces in Alhambra Museum. © Patronato de la Alhambra y Generalife, Alhambra Museum.

Due to space limitations and to comply correctly with the rules of this publication, the “Documentary Datasheet” is presented in [Figure 5] as an example. This document collects, as a “summary”, the most relevant information for the inventory and cataloguing of the architectural ceramics, such as description, identification, and classification. Some remarkable sections are: the “inventory number” which is the identifying code of each object; the “location” which means its precise situation inside the collection; the “generic classification” which refers to its material classification; the “object” which corresponds to the common name assigned to each piece, considering those

available in “Thesaurus Database Common Names List”; the “technique” which could refer to the manufacturing process or the decoration technique of each object; and finally, the “internet availability” of each object, which one is especially relevant in research cases.

Although, as expressed in [Figure 6], it should be noted that from the total of 86.140 which corresponds to the architectural ceramic pieces stored in Alhambra Museum at this time, approximately 57.000 (66%) are inventoried, about 900 (1%) are also catalogued, and just 57 (0,07%) are available on internet (DOMUS database as of 29-08-2023).



Figure 5.- Documentary Datasheet of a tiling mosaic fragmented panel. © Patronato de la Alhambra y Generalife, Alhambra Museum.

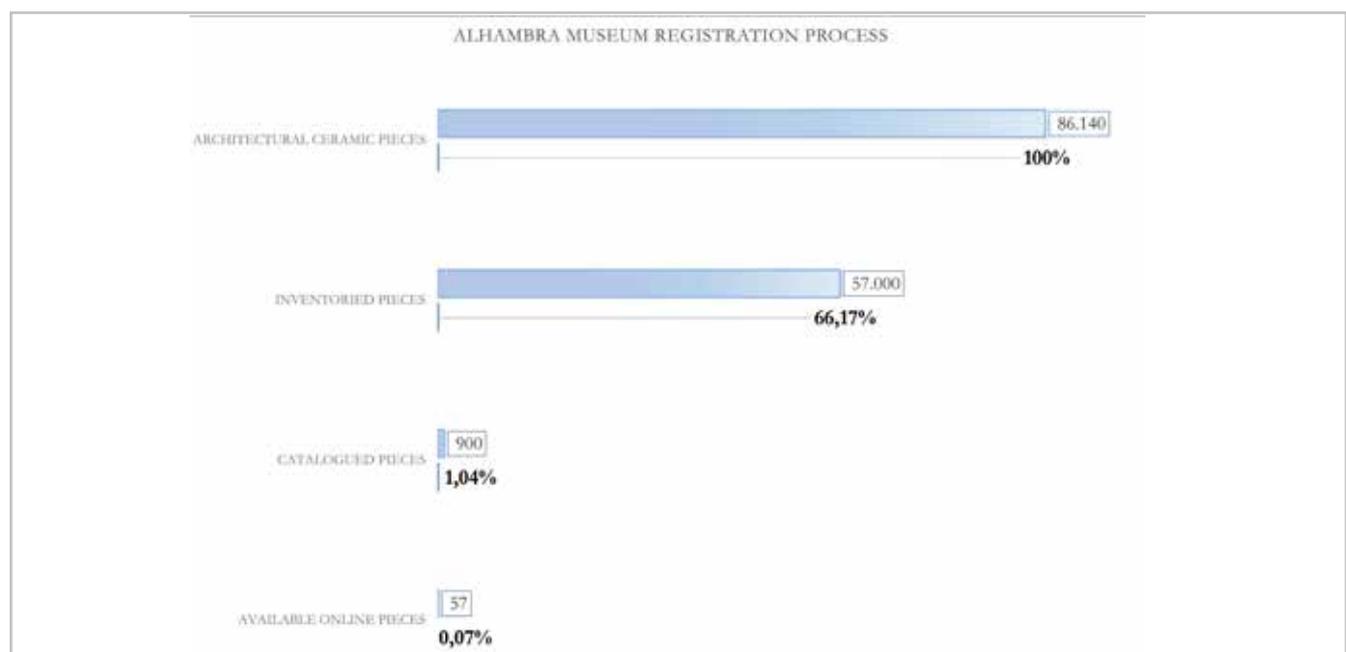


Figure 6.- Alhambra Museum documentation process according to DOMUS database on 29 August 2023.

## Conservation of the tile and tiling mosaics pieces of the Alhambra Museum

Regarding the conservation *stricto sensu* of the tiles and tiling mosaics objects at Alhambra palatine city, some necessary variables must be considered before the application of the different treatments. Firstly, their technical diversity, secondly, their decorative purpose, and finally, their current and future location. The location may refer to those objects available *in situ* valued as architectural objects that maintain their original context, also those objects already detached from their architecture that are stored or will become part of the permanent exhibition of the Alhambra Museum (Martín Peinado 2022: 328).

The aim of the interventions carried out on these pieces is focused on eradicating the harmful agents that affect their conservation, also restoring their physical and aesthetic integrity. The different treatments normally include: a previous consolidation especially in case of a decorative layer detachment; cleaning of the reverse to eliminate the remains of the materials used in the adhesion of the objects in the architectural facing; front cleaning to remove deposits and dirt incrustations adhered to the surface; chromatic reintegration that aims to recover the aesthetic aspect and the whole visual interpretation mostly in the case of the *alicerces*, that form intricate compositions in tiling mosaics panels; volumetric reconstruction in some cases such as tiles executed by the relief technique; and finally, panels assemblage mainly for those which have missing or dislocated pieces (Martín Peinado 2022: 329-334).

All the interventions are gathered in "Conservation Reports", and the information provided is later transferred to the registration, inventory, and catalogue records of each object. These reports usually include a complete study of each object, a first analysis of their technical and material characteristics as well as some details about their state of conservation. Furthermore, these reports also include other files such as "Field Notebooks" that are prepared during the intervention processes, and "Final Reports" that are presented at the end of the intervention (Blanca López and Blanca López 2022: 273). All documentation is stored in "Alhambra Archives" under the responsibility of the *Patronato de la Alhambra*, which administer the information just for internal use.

At last, with regard to the maintenance of the objects in the Alhambra Museum, the criteria adopted are in accordance with the Ministry of Culture's Exhibition and Preventive Conservation Programmes, whose purpose is to establish the optimum conservation parameters based on the nature of the collections, their suitability for the particular characteristics of the museum and the conditions required by the objects (Subdirección General de Museos Estatales 2005: 128-129, 140-147). Most of the ceramic collection is kept in specific storage boxes appropriated to their composition and typology and according to the conditions

of relative humidity, temperature, lighting, manipulation, storage, and exhibition.

## Conclusions

The Alhambra palatine city is a key environment, but also very complicated, for the study and understanding of the Spanish-Muslim architectural ceramic pieces, even more if we considerate it from different perspectives such as those presented in this document.

At a historical level, the origin and the evolution of the Alhambra Museum and its collection are directly related to the development of the monumental complex itself, whose identity has been enriched along with the development of organization, documentation, and research. The incessant growth of the collection still requires a constant adaptation and renewal in management tasks, although now with the objective of promoting investigations and facilitating the access to the collections.

Regarding the field of technical documentation, we can conclude that the documentation of these museum objects is fundamental for the present management and future conservation of the heritage assets. Documentation is a necessary task in all stages related to the objects within these institutions. It also underlines the importance of scientific communication, especially in this case, where the objects have remained mostly unknown inside the Alhambra's spaces. The cataloguing and inventorying of the tile and tiling mosaic pieces in the Alhambra Museum still presents some difficulties, such as their technical complexity, the extraordinary volume of pieces and the standard terminological variations that, in some cases, generate discrepancies in their classification and description.

Finally, concerning the conservation of the tile and tiling mosaics, we can conclude that this is an extremely important task to recognise the historical and cultural value of these objects. Regarding the criteria applied for their conservation, it is worth highlighting the intricate scenario that precedes them: first, the technical diversity of the pieces, second, their ornamental purpose, and finally, their current and future location. The location may refer to those objects available *in situ* valued as architectural objects that maintain their original context, those objects already detached from their architecture that are stored in the reserve areas, and those objects that are or will become part of the permanent exhibition of the Alhambra Museum.

## Note

[1] This research is part of the doctoral dissertation *Estudio histórico y arqueométrico de cerámicas arquitectónicas ornamentales de la Alhambra y Generalife de la etapa nazarí hasta la expulsión de los*

*moriscos (siglos XIII – XVII)*. We are grateful to the Patronato de la Alhambra y Generalife, especially to the Collection Department of the Alhambra Museum, for providing access to the monument and for their countless support. We are grateful for funding from Junta de Andalucía Research Group RNM-179, and from Alhambra's Science Excellence Unity (UCE-PP2018-01).

## References

ÁLVARO ZAMORA, M.I. (2004). "Elementos arquitectónicos y decorativos nazaries en el arte mudéjar aragonés II. Azulejería de arista procedente de la Torre Nueva de Zaragoza", *Artigrama Revista del Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Zaragoza*, 19: 303-336. <https://papiro.unizar.es/ojs/index.php/artigrama/article/view/8343/7047>.

BERMÚDEZ LÓPEZ, J. (1995). "El Museo de la Alhambra. Un siglo para la gestación de una idea". In *El palacio de Carlos V: un siglo para la recuperación de un monumento*, Rodríguez Frade, J.P. (Ed.). Granada: Comares Patronato de la Alhambra y Generalife, 68-92.

BERMÚDEZ PAREJA, J. (1968). "El Museo Nacional de Arte Hispanomusulmán", *Cuadernos de la Alhambra*, 4: 155-160.

BLANCA LÓPEZ, M.D. and BLANCA LÓPEZ, L. (2022). "El lucernario del Baño de Comares". In *Hecha de barro y vestida de color. Cerámica arquitectónica en la Alhambra*, Díez Jorge, M.E. (Ed.). Granada: Patronato de La Alhambra y Generalife, Consejería de Turismo, Cultura y Deporte, Junta de Andalucía, 273-319.

BOE-A-1987-11621. Ministerio de Cultura. *Real Decreto 620/1987, de 10 de abril, por el que aprueba el Reglamento de Museos de Titularidad Estatal y del Sistema Español de Museos*. <https://www.boe.es/eli/es/rd/1987/04/10/620/con>

CABAÑERO SUBIZA, B. (2004). "Elementos arquitectónicos y decorativos nazaries en el arte mudéjar aragonés I. La Torre Nueva de Zaragoza, una réplica de la sala de los Abencerrajes de la Alhambra de Granada", *Artigrama Revista del Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Zaragoza*, 19: 243-302. <https://papiro.unizar.es/ojs/index.php/artigrama/article/view/8342/7046>.

CARRETERO PÉREZ, A. (2005). "Domus y la gestión de las colecciones museísticas", *Marq Arqueología y Museos*, 17-30. <https://www.marqalicante.com/Publicaciones/es/MARQ-ARQUEOLOGIA-Y-MUSEOS-00-P43.html>

CONSEJERÍA DE CULTURA and PATRONATO DE LA ALHAMBRA (1986). "Decreto 59/1986 de 19 de marzo por el que se aprueban los Estatutos del Patronato de la Alhambra y Generalife", *Cuadernos de la Alhambra*, 22: 159-169.

DE PAULA VALLADAR, F. (1890). *Guía de Granada 1852-1924*. Granada: Viuda e Hijos de Paulino V. Sabatel Mesones.

DE PAULA VALLADAR, F., DE PAULA GÓNGORA, F. and CONDE DE LAS INFANTAS (1907). *La Alhambra: Su historia, su conservación y su estado en la actualidad. Informe emitido a la Comisión de Monumentos de Granada*. Granada: Tip. Lit. Paulino Ventura Traveset.

DÍEZ JORGE, M.E. (2022). *Hecha de barro y vestida de color. Cerámica arquitectónica en la Alhambra*. Granada: Patronato de la Alhambra y Generalife.

DÍEZ JORGE, M.E. (2007). "Los alicatados del Baño de Comares de la Alhambra, ¿islámicos o cristianos?", *Archivo Español de Arte*, 317: 25-43. <https://doi.org/10.3989/aearte.2007.v80.i317.31>

DÍEZ JORGE, M.E., BARRERA MATORANA, J.I. and JIMÉNEZ DÍAZ, N. (2018). "The Alhambra: Transformation and Change through Architectural Ceramics", *Arts*, 79: 1-32. <https://doi.org/10.3390/arts7040079>

FERRER MORALES, A. (2007). *La cerámica arquitectónica: su conservación y restauración*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

GÓMEZ-MORENO CALERA, J.M. (2007). "La Torre de Abu-l-Hayyay o del Peinador en época nazari: orígenes históricos y estudio arquitectónico", *Cuadernos de la Alhambra*, 42: 8-35.

GÓMEZ-MORENO CALERA, J.M. (2005). "La cerámica arquitectónica en el mudéjar granadino", *Cuadernos de Arte de la Universidad de Granada*, 36: 7-28. <https://revistaseug.ugr.es/index.php/caug/article/view/8792>

GÓMEZ-MORENO GONZÁLEZ, M. (1888). *Medina Elvira*. Granada: Imp. La Lealtad.

GÓMEZ-MORENO GONZÁLEZ, M. (1885). *Palacio del Emperador Carlos V en la Alhambra*. Madrid: Establecimiento tipográfico de El Correo, á cargo de Francisco Fernández.

GÓMEZ-MORENO, M. (1951). *Ars Hispaniae. Historia Universal del Arte Hispánico*. Madrid: Plus-Ultra.

GÓMEZ-MORENO, M. (1929). 3ª ed. *El Arte en España: guía del Museo del Palacio Nacional*. Barcelona: Imprenta de Eugenio Subirana.

Granada, Archivo de la Alhambra, leg. 311.

JOKILEHTO, J. (1986). *A History of Architectural Conservation. The contribution of English, French, German and Italian Thought toward an International Approach to the Conservation of Cultural Property*. England: The University of York. <https://www.iccom.org/publication/history-architectural-conservation>

KORRO, J., ZORNOZA-INDART, A. and VALLE-MELÓN, J.M. (2023). Documentación de las intervenciones de conservación-restauración del patrimonio arquitectónico: perspectiva histórica, situación actual y tendencias de futuro. *Ge-Conservacion*, 24(1), 21-33. <https://doi.org/10.37558/gec.v24i1.1195>

MARINETTO SÁNCHEZ, P. (2017). "Museo de la Alhambra. Origen y evolución a lo largo de la historia", *Boletín Museo Arqueológico Nacional*, 35: 282-302. <https://www.man.es/man/en/estudio/publicaciones/boletin-info/2010-2019/2017-35-033-info.html>

MARINETTO SÁNCHEZ, P. (1995). "Colección del Museo de la Alhambra". In *Arte islámico en Granada: propuesta para un Museo*

de la Alhambra, Revilla Uceda, M., Casamar, M. and Bermúdez López, J. (Eds.). Granada: Comares Patronato de la Alhambra y Generalife, 183-189.

MARTÍN PEINADO, B. (2022). "Intervenciones sobre cerámicas arquitectónicas nazaríes de la Alhambra". In *Hecha de barro y vestida de color. Cerámica arquitectónica en la Alhambra*, Díez Jorge, M.E. (Ed.). Granada: Patronato de la Alhambra y Generalife, Consejería de Turismo, Cultura y Deporte, Junta de Andalucía, 321-337.

MERGELINA, C.d. (1927). *Bobastro: Memoria de las excavaciones realizadas en las Mesas de Villaverde*, El Chorro (Málaga). Madrid: Tipografía de la Revista de Archivos. <https://bibliotecavirtual.malaga.es/i18n/consulta/registro.cmd?id=14197>

MORATINOS GARCÍA, M. (2019). *Estudio de la azulejería de las provincias de León, Zamora y Salamanca*. Valladolid: Consejería de Cultura y Turismo. <https://bibliotecadigital.jcyl.es/es/consulta/registro.do?id=32491>

MORATINOS GARCÍA, M. (2016). *Estudio de la azulejería de las provincias de Ávila y Valladolid*. Valladolid: Consejería de Cultura y Turismo. <https://bibliotecadigital.jcyl.es/es/consulta/registro.do?id=32490>

PÉREZ LÓPEZ, S., MORENO LEÓN, E. and SÁNCHEZ GÓMEZ, P. (2022). "La cerámica arquitectónica del Museo de la Alhambra. Documentación e Investigación". In *Hecha de barro y vestida de color. Cerámica arquitectónica en la Alhambra*, Díez Jorge, M.E. (Ed.). Granada: Patronato de la Alhambra y Generalife, Consejería de Turismo, Cultura y Deporte, Junta de Andalucía, 341-367.

PLEGUEZUELO HERNÁNDEZ, A. (1989). *Azulejo sevillano: catálogo del Museo de Artes y Costumbres Populares de Sevilla*. Sevilla: Padilla Libros Editores & Librerías.

REVILLA UCEDA, M. (1995). "Propuesta para un Museo de la Alhambra". In *Arte islámico en Granada: propuesta para un Museo de la Alhambra*, Revilla Uceda, M., Casamar, M. and Bermúdez López, J. (Eds.). Granada: Comares Patronato de la Alhambra y Generalife, 23-29.

SECRETARIA DE ESTADO DE CULTURA (1998). *Normalización Documental de Museos. Elementos para una aplicación informática de gestión museográfica*. Madrid: Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales. Ministerio de Cultura. Gobierno de España. <https://www.culturaydeporte.gob.es/cultura/areas/museos/mc/ndm/capitulos.html> [Consulted: 29/8/2023]

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE MUSEOS ESTATALES (2005). *Criterios para la elaboración del Plan Museológico*. Madrid: Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales. Ministerio de Cultura. Gobierno de España. [https://www.libreria.cultura.gob.es/libro/criterios-para-la-elaboracion-del-plan-museologico\\_5461/](https://www.libreria.cultura.gob.es/libro/criterios-para-la-elaboracion-del-plan-museologico_5461/) [Consulted: 29/8/2023]

TORRES BALBÁS, L. (1949). *Ars Hispaniae*. Historia Universal del Arte Hispánico. Madrid: Plus-Ultra.

TORRES BALBÁS, L. (1944). "El Museo Arqueológico de la Alhambra", *Al-Andalus*, IX: 236-241. <https://oa.upm.es/34124/>.

TORRES BALBÁS, L. (1939). "De cerámica hispano-musulmana", *Al-Andalus*, IV: 409-432. <https://oa.upm.es/34029/>.

TROITIÑO VINUESA, M.Á. (1998). "Patrimonio arquitectónico, cultura y territorio", *Ciudades Revista del Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid*, 4: 95-104.

VELÁZQUEZ BOSCO, R. (1923). *Excavaciones en Medina Azahara: Memoria sobre lo descubierto en dichas excavaciones*. Madrid: Junta Superior de Excavaciones y Antigüedades. <https://www.bibliotecavirtualdeandalucia.es/catalogo/es/consulta/registro.cmd?id=1014114>

VILLAFRANCA JIMÉNEZ, M.d.M. (1998). *Los museos de Granada: génesis y evolución histórica (1835-1975)*. Granada: Diputación Provincial de Granada.

#### Autor/es



**Danielle Dias Martins**

[danielledias@correo.ugr.es](mailto:danielledias@correo.ugr.es)

Universidad de Granada

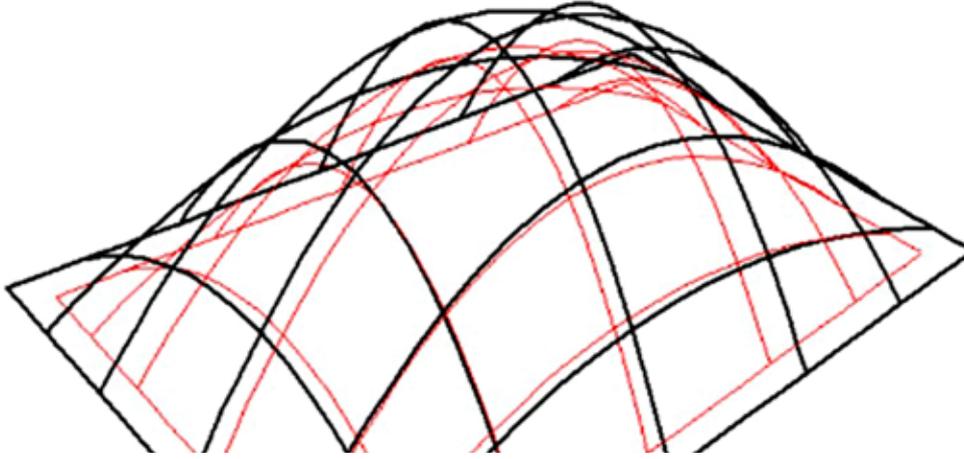
<https://orcid.org/0000-0003-2197-4739>

Danielle Dias Martins is a Senior Technician in Ceramic Art and Design, Cultural Heritage Conservator/Restorer specialized in ceramic materials and polychrome surfaces, master's in science and technology of Architectural Heritage, and PhD candidate in Conservation and Restoration of Heritage Assets by the University of Granada. She works as a ceramist, ceramologist and conservator in several projects related to heritage conservation and develops multidisciplinary research on the architectural ceramics of the Alhambra and Generalife framed in the *Unidad de Excelencia* of the *Patronato de la Alhambra*.

Artículo enviado 16/10/2023  
Artículo aceptado el 26/04/2024



<https://doi.org/10.37558/gec.v25i1.1259>



## Propuesta original de bajo impacto físico y medioambiental, de coberturas ligeras de doble capa para yacimientos arqueológicos, optimizadas mediante software paramétrico y análisis del ciclo de vida

**M. Ordóñez-Martín, J.C. Gómez de Cózar, R. M<sup>a</sup>. Benítez Bodes**

**Resumen:** La cobertura de yacimientos arqueológicos a ras de suelo ha motivado, en el último siglo, el empleo de multitud de sistemas con mayor o menor efectividad en su potencial de protección. En este artículo se valora la efectividad de 21 coberturas existentes en la Península Ibérica, analizándolas a partir de parámetros de control como su peso propio, superficie de envolvente e impacto medioambiental. A partir de las conclusiones extraídas, y como propuesta original de este trabajo, se desarrolla un sistema configurable de cobertura, mediante estructura ligera, basado en mallas de doble curvatura de una capa, compatible con envolvente textil cerrada de doble capa. En cada caso concreto, la solución final que mejor se adapta al yacimiento se obtiene tras un proceso de optimización del diseño, basado en parámetros, que reducen la materialidad a emplear, el proceso constructivo y el impacto medioambiental en cada fase del Ciclo de Vida.

**Palabras clave:** cobertura de yacimientos, optimización, diseño paramétrico, estructuras ligeras, análisis del ciclo de vida

### Original proposal with low physical and environmental impact, for lightweight double layer coverings for archaeological sites, optimized through parametric software and life cycle analysis

**Abstract:** The coverage of archaeological sites at ground level has motivated, in the last century, the use of a multitude of systems with greater or lesser effectiveness in their protection potential. In this paper, the effectiveness of 21 existing covers in the Iberian Peninsula is assessed, analyzing them based on control parameters such as their own weight, envelope surface and environmental impact. Based on the conclusions drawn, and as an original proposal of this work, a configurable coverage system is developed, by means of a light structure, based on single-layer double-curvature meshes, compatible with a double-layer closed textile envelope. In each specific case, the final solution that best suits the site is obtained after a process of optimization of the design, based on parameters, which reduces the material to be used, the construction process and the environmental impact in each phase of the Life Cycle.

**Keywords:** archaeological coverage, optimization, algorithmic design, light structures, life cycle assessment

### Proposta original de baixo impacto físico e ambiental, de coberturas leves de dupla camada para sítios arqueológicos, otimizadas através de software paramétrico e análise de ciclo de vida

**Resumo:** A cobertura de sítios arqueológicos ao nível do solo motivou, no último século, a utilização de uma multiplicidade de sistemas com maior ou menor eficácia no seu potencial de proteção. Este artigo avalia a eficácia de 21 coberturas existentes na Península Ibérica, analisando-as com base em parâmetros de controlo como o seu peso, a superfície envolvente e o impacto ambiental. Com base nas conclusões retiradas, e como proposta original deste trabalho, é desenvolvido um sistema de cobertura configurável, utilizando uma estrutura leve, baseada em malhas de dupla curvatura de camada única, compatível com um envelope têxtil fechado de dupla camada. Em cada caso concreto, a solução final que melhor se adapta ao local é obtida após um processo de otimização do projeto, baseado em parâmetros que reduzem a materialidade a utilizar, o processo construtivo e o impacto ambiental em cada fase do Ciclo de Vida.

**Palavras-chave:** cobertura de sítios arqueológicos, otimização, desenho paramétrico, estruturas leves, análise do ciclo de vida

## Antecedentes

La ejecución de coberturas es la única estrategia efectiva para la conservación de yacimientos arqueológicos in-situ a ras de suelo (Díaz 2005). En los últimos 35 años en la Península Ibérica, se han materializado soluciones que no han resultado, en la mayoría de los casos, completamente efectivas desde el punto de vista de huella física y de conservación preventiva ante los diversos agentes ambientales: temperatura, humedad, radiación solar o erosión del viento, etc. (Cabello 2018). Son evidentes los desajustes con el objeto a proteger por ineficiente protección física y ambiental, impacto paisajístico o impacto físico en sus apoyos o rigidez formal (Aslan 1997).

Con el fin de acercar los bienes excavados a las condiciones de conservación de una vitrina arqueológica (Rodríguez 2014), deben cumplirse las premisas de: ligereza, reversibilidad, escaso impacto físico, fácil mantenimiento y buen control climático del espacio cubierto.

En el proceso de diseño debe atenderse a diversos parámetros físicos y geométricos: irregularidad topográfica, geometría y altura de la cubierta, sistema de estructura y de envolvente, limitación del número de apoyos, etc., que están interrelacionados con la integración formal con el yacimiento, su comportamiento estructural, su efectividad higrotérmica y su impacto medioambiental.

El diseño paramétrico se convierte así en una herramienta útil en la generación de modelos de aplicación en este ámbito ya que, utilizando algoritmos generadores, pueden crearse espacios y estructuras complejas con mínimo empleo de recursos y posibles reconfiguraciones que se adapten a modificaciones surgidas en fase de proyecto o ejecución de obras (Holzer *et al.* 2007).

El diseño de coberturas arqueológicas debe basarse en estrategias de: ligereza, rapidez de montaje, flexibilidad (para adaptarse a geometrías irregulares, al proceso de excavación y posibilitar variedad de configuraciones de la envolvente) reversibilidad y reciclabilidad, lo cual implica una reducción directa del impacto medioambiental (Gómez *et al.* 2017; Gómez *et al.* 2019; Moncaster *et al.* 2018).

Dentro de las estructuras de coberturas ligeras en yacimientos, la parametrización es de especial importancia en aquellas tipologías donde forma y estabilidad están íntimamente relacionadas, como las estructuras tensadas de grandes luces, requiriendo procesos iterativos de cálculo a partir de condicionantes geométricos (Novysedlák 2021).

Otros estudios, basados en la generación de superficies orgánicas mediante NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines), reflexionan sobre la posibilidad de generación de soluciones de mallas estructurales parametrizadas proponiendo una forma arquitectónica como hipótesis de partida para optimizar el coste material de la solución (Mateus *et al.* 2014).

El diseño paramétrico de mallas espaciales permite generar coberturas de espacios con mínimos apoyos, al modelizar conexiones y condiciones de contorno, además de su optimización material, con intercambio de información en tiempo real entre geometría proyectada y comportamiento estructural, obteniéndose soluciones optimizadas desde el punto de vista material de su ciclo de vida (Edmonds *et al.* 2022; Farez *et al.* 2019). Se aplica también de forma combinada con el cálculo mediante elementos finitos y algoritmos genéticos para la optimización de cubiertas de armaduras de madera (Bonelli y Begliardo 2016).

La teoría de algoritmos genéticos, que aplica la resolución de problemas de optimización basados en selección natural modificando repetidamente una población de soluciones hasta llegar a una solución optimizada, se está implementando en el ámbito patrimonial para conseguir modelos donde prime el concepto de sostenibilidad, identificando parámetros como: necesidades espaciales, peso de material, minimización de residuos, optimización de procesos constructivos, limitación de demanda energética, etc., obteniendo modelos con un alto grado de adaptación al medio (Camporeale 2012).

Propuestas recientes minimizan el consumo de recursos para la fabricación al seleccionar productos y fomentar su reutilización. Proponen ejemplos de cubiertas de entramados prefabricados de madera reconfigurables, cuyos elementos seriados se fabrican mediante fresado robotizado a partir de armaduras de madera desmontadas reprocesadas. (Hua *et al.* 2022).

La rapidez de montaje y la flexibilidad en el uso se relacionan en ocasiones con soluciones que plantean partes móviles en estructura y envolvente en las que se definen patrones de movimiento y vinculación de los nudos para su transporte y montaje. En estos casos resulta fundamental su integración en un proceso global de generación y optimización paramétrica combinada con algoritmos genéticos, de cara a una optimización global del proceso (generación, fabricación, montaje, desmontaje y reutilización) (Saito *et al.* 2009).

En investigaciones recientes aplicadas a modelos de cobertura para yacimientos arqueológicos desde criterios de conservación patrimonial se analizan algunos generados mediante modelado algorítmico, basados en planos inclinados, mallas planas tridimensionales o mallas de geometría curva de una capa, elaborando una metodología de optimización desde criterios de compatibilidad física y efectividad en la protección. Se avanza también en la posibilidad de incorporar a los modelos de análisis factores ambientales determinantes de los procesos de alteración como la incidencia de la luz natural, la ventilación o las variaciones de temperatura (Ordóñez y Gómez 2020).

En el presente artículo se analizan 21 coberturas de yacimientos a ras de suelo construidas en la Península Ibérica en los últimos 35 años, proponiéndose un sistema original de cobertura gestionado a partir de un proceso paramétrico de optimización que reduce su impacto medioambiental.

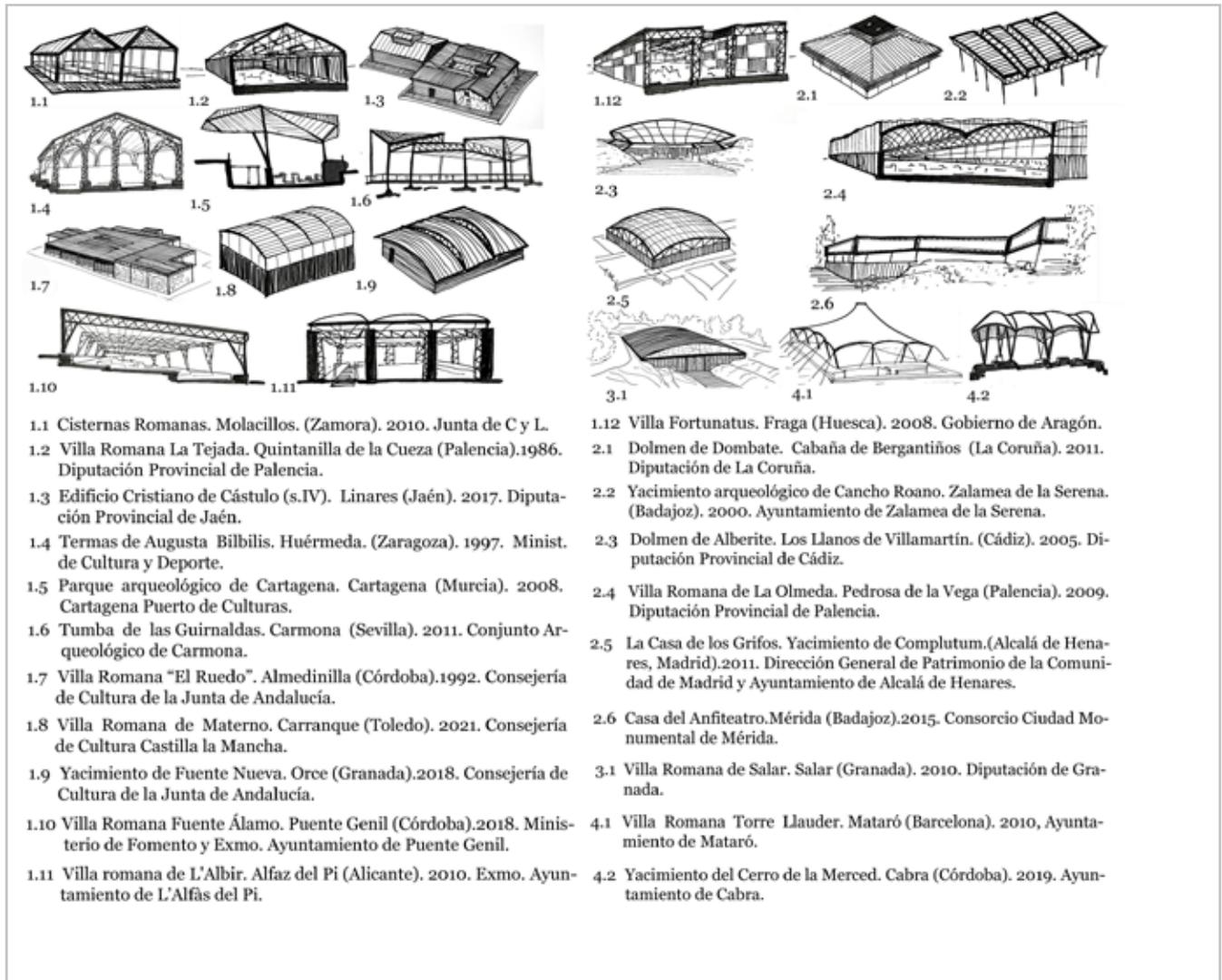


Figura 1.- Esquema conceptual de intervenciones analizadas. Fuente: elaboración propia.

## Objetivos

Los objetivos de esta investigación son los siguientes:

- Clasificación y análisis de los sistemas estructurales y constructivos empleados en los modelos de cobertura de yacimientos arqueológicos ejecutados en los últimos 35 años en el ámbito de la Península Ibérica. Determinación de debilidades y fortalezas.
- Propuesta de un sistema original de cobertura para yacimientos arqueológicos a ras de suelo que, a partir de los resultados obtenidos en el punto anterior, optimice su rendimiento, minimizando su impacto medioambiental.

## Metodología

Se propone la siguiente metodología original:

- Clasificación y análisis de 21 modelos de cobertura

existentes, atendiendo a: sistema estructural, tipo y configuración de envolvente, tipo de cimentación, peso propio de la estructura, superficies de envolventes, coste de ejecución y mantenimiento, flexibilidad/capacidad de adaptación al yacimiento, impacto visual y sostenibilidad de las intervenciones.

- Propuesta original de sistema de cobertura, atendiendo a: fundamentos y referencias previas, desarrollo geométrico y definición constructiva.

- Desarrollo instrumental del sistema propuesto a partir de software paramétrico que optimice el sistema atendiendo a criterios de selección de materialidad, minimización de peso propio y de superficie de envolventes y, por lo tanto, del impacto medioambiental.

- Comprobación de la efectividad del sistema propuesto a partir de la generación de un caso particular comparable con el estudio de casos existentes que se ha realizado.

Mod.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1.1	11-18-4,5	Pórticos planos de acero laminado. Uniones soldadas.	Sin cerramiento//Chapa de acero prelacado sobre tablero de madera.	Vigas de acero laminado, sobre muretes de hormigón armado.	24,57-19,26-SE	1,05-2,06	Sí	743,64	9,01	5
1.2	32-55,5-7	Cerchas trianguladas de acero laminado sobre pilares del mismo material. Uniones soldadas.	Fábrica pesada a base de bloques prefabricados de hormigón// Placas de fibrocemento.	Zanjas corridas o aisladas de hormigón armado.	14,40-15,15-260	1,76-1,76	No	S/D	13,30	4
1.3	12-16-5	Pórticos planos de vigas y pilares de acero laminado.	Parcial de celosía de lamas de acero//Panel sándwich de acero prelacado.	Vigas de acero laminado sobre muros emergentes del yacimiento.	20,74-11,24-7,50	1,37-2,31	No	609,37	61,96	1
1.4	12-25-10	Pórticos a modo de arcos de estructura triangulada en acero laminado, y correas de cubierta a base de cerchas del mismo material. Uniones soldadas.	Sin cerramiento//Paneles de policarbonato.	Apoyo sobre muros emergentes del yacimiento mediante placas de anclaje.	29/0,73/SE	1,03-2,98	No	S/D	19,27	5
1.5	27-78-12	Malla espacial de acero laminado en perfiles de alma llena, sobre soportes tubulares del mismo material. Uniones soldadas.	Sin cerramiento//Paneles de policarbonato.	Micropilotes.	26,37-0,75-SE	1,05-1,72	No	949,24	20,05	6
1.6	19-22,5-5,67	Pórticos planos de vigas de alma llena o cerchas de acero laminado, sobre pilares del mismo material. Uniones soldadas.	Sin cerramiento//Tablero de madera OBS con aislamiento térmico y lámina impermeabilizante autoprottegida.	Micropilotes	20,74- 21,78-SE	1,05-2,30	No	294,93	27,49	5
1.7	38-28-3a5	Pórticos planos de pilares de perfiles de alma llena de acero laminado, y vigas cercha del mismo material. Uniones soldadas.	Parcial mediante celosía de acero//Chapa grecada con paños puntuales de placas translúcidas de poliéster.	Zapatas de hormigón armado, o apoyo sobre muros emergentes del yacimiento mediante placa de anclaje.	16,19-10,90-7,50	1,06-1,52	NO	S/D	49,20	2
1.8	48,62-48,42-7	Pórticos de cerchas planas curvas de acero laminado, sobre pilares de perfil de alma llena del mismo material. Uniones soldadas.	Citara de ladrillo perforado a media altura//Paneles sandwich de acero prelacado con aislamiento térmico.	Zapatas de hormigón armado.	9,07-10,63-172,50	1,11-1,33	No	S/D	21,93	4
1.9	20,15-31,40-8,30	Pórticos de cerchas planas curvas de acero laminado, sobre pilares de perfil de lama llena del mismo material. Uniones soldadas.	Celosía de lamas de acero galvanizado//Chapa grecada de acero galvanizado prelacado.	Zapatas corridas de hormigón armado.	18,62-11,45-7,50	1,99-1,99	Sí	367,94	49,68	4
1.10	27-56-8	Pórticos de vigas y pilares de estructura plana triangulada de acero laminado. Uniones soldadas.	Sin cerramiento//Membrana tensada de textil estructural.	Encepados y micropilotes de hormigón armado, externos a excavación.	11,80-0,75-SE	1,00-1,77	Sí	478,84	18,74	5
1.11	16-32-7	Celosía espacial triangulada de acero laminado en vigas y pilares. Uniones soldadas.	Sin cerramiento//Membrana tensada de textil estructural.	Zapatas aisladas de hormigón armado.	43,40-0,78-SE	1,04-2,42	Sí	615,23	18,11	5
1.12	42-53-7	Celosía espacial triangulada de acero laminado en vigas y pilares. Uniones soldadas.	Paneles de poliéster translúcido//Chapa grecada de acero prelacado.	Zapatas aisladas de hormigón armado.	22,00-10,90-0,71	1,45-1,45	Sí	S/D	17,32	4
2.1	35-35-6	Bóveda a base de arcos de madera, apoyados sobre durmiente de madera y soportes tubulares de acero laminado. Uniones atornilladas o por esterotomía.	Vidrio termoacústico, con celosía superior de lamas metálicas// Cubierta ventilada de chapa de cobre sobre tablero de madera con aislamiento térmico.	Muros de contención de hormigón armado.	54,37- 18,80-25,00 a 49,00	1,26-1,26	No	779,43	36,18	4

2.2	48-45-9	Mallas espaciales trianguladas de geometría plana, en acero laminado con uniones atornilladas, sobre soportes de perfiles de acero laminado de alma llena.	Sin cerramiento//Chapa grecada de acero, y paneles traslúcidos de policarbonato.	Zapatas aisladas de hormigón armado.	21,60-9,50-SE	1,00-1,77	Sí	S/D	14,66	5
2.3	20-18-4,5	Malla curva de perfiles tubulares de acero laminado Uniones soldadas.	Sin cerramiento//Chapa lisa de acero.	Pedestales de hormigón armado.	27,65-7,85-SE	1,01-1,53	No	886,63	7,90	1
2.4	101,25-75-11,75	Bóvedas de retícula modular romboidal de acero laminado, prefabricada en taller y ensamblada mediante nudos atornillados, sobre pórticos de perfiles de alma llena de acero laminado con unión soldada.	Muro de hormigón armado, paneles de policarbonato y chapa de acero corten perforada//Chapa de aluminio con aislamiento térmico.	Muro perimetral y zapatas aisladas de hormigón armado.	33,00-20,55-entre 0,71 y 625, con paños de 15,70	1,54-1,54	Sí.	1.084,42	18,54	4
2.5	34-39,50-12	Bóveda de entramado de cerchas planas de acero laminado. Uniones soldadas.	Parcial de chapa grecada de acero//Paneles sándwich de chapa de acero prelacada.	Zapatas aisladas de hormigón armado.	19,50-1,13-9,50	1,32-1,50	Si	327,41	23,44	4
2.6	60-70-3,5	Malla espacial triangulada de perfiles de aluminio sobre soportes de acero laminado a base de perfiles de alma llena. Uniones atornilladas.	Sin cerramiento//Membrana tensada de textil estructural.	Dados o muros de hormigón armado.	12,26-1,00-SE	1,00-1,57	No	270,86	8,40	2
3.1	26-24-2,50	Cubierta autoportante de chapa perfilada de simple curvatura de acero galvanizado lacada. Uniones atornilladas.	Chapa perforada ondulada, y paños de vidrio//Chapa perfilada curva de acero.	Zunchos de hormigón armado.	18,43-18,43-16,50 a 20,00	1,38-1,38	Sí	177,54	34,60	4
4.1	21-24-8	Membrana textil atirantada sobre mástil y trípodes a base de perfiles tubulares de acero laminado.	Sin cerramiento//Membrana tensada de textil estructural.	Dado de hormigón, y puntos de anclaje mediante placas de acero y pernos clavados en terreno perimetral al yacimiento.	1,72-0,90-SE	1,20-1,73	Sí	495	14,92	3
4.2	17-22-6	Arcos a base de perfiles tubulares de acero laminado, con cubierta textil atirantada. Uniones soldadas.	Sin cerramiento//Membrana tensada de textil estructural.	Zapatas aisladas de hormigón armado.	12,26-0,86-SE	1,14-1,97	No	409,87	17,36	3

Siendo:

- A** Dimensiones Máx. Aprox. (Ancho-Largo-Alto), en m.
- B** Sistema estructural.
- C** Configuración envolvente (Cerramiento//cubierta).
- D** Tipología de cimentación.
- E** Pesos propios estimados (estructura-envolvente horizontal-envolvente vertical) (SE si no cuenta con envolvente), en Kg/m<sup>2</sup>.
- F** Cociente entre valores de superficie de envolvente de cobertura y superficie cubierta en planta (Caso envolvente actual-Caso envolvente hipótesis edificio cerrado).
- G** Verificación de capacidad de adaptación y ampliación del modelo frente a evolución futura del yacimiento.
- H** Coste €/m<sup>2</sup> de contrata sin IVA (base datos licitación pública) considerando 13% CI y 6% BI, corregido con variación de inflación según INE a año 2023 (S/D si no se ha tenido acceso a datos).
- I** Coste €/m<sup>2</sup> de mantenimiento de contrata sin IVA para los elementos estructurales y de envolvente en los 10 primeros años (Base de datos "Módulo de Mantenimiento General Cype Ingenieros S.A.).
- J** Clasificación de impacto visual de la intervención (1. Cubiertas interpretativas que evocan la volumetría original. 2. Cubiertas ajustadas a la geometría en planta. 3. Elementos de protección ligeros de carácter temporal con mínima unión al yacimiento. 4. Cubierta sin relación formal a modo de cofre protector. 5. Cubierta sin relación formal como elemento de sombra o protección de pluviometría. 6. Cubierta de impronta arquitectónica de gran impacto visual).

**Tabla 1.-** Características de las coberturas analizadas.

### Clasificación y análisis de sistemas de cobertura de yacimientos existentes en la Península Ibérica (1986-2021)

En nuestra trayectoria investigadora hemos desarrollado una metodología de trabajo que ha generado modelos de cobertura ligera y de rápido montaje, compuestas por mallas espaciales de geometría curva y envolvente textil de doble capa. Estas se basan en la adaptabilidad al espacio a cubrir con una mínima huella física y ecológica, con objeto de lograr un control efectivo de las condiciones ambientales del espacio cubierto (Ordóñez y Gómez 2020). En un trabajo previo a este artículo se ha analizado la eficacia de protección de las coberturas de yacimientos existentes en los últimos 35 años en la Península Ibérica (Ordóñez y Gómez 2022).

En la [Figura 1] se exponen, a nivel de esquema, las 21 intervenciones analizadas, incluyendo su denominación, ubicación, años de construcción y entidad promotora.

En la [Tabla 1] se aporta información de los modelos seleccionados en la [Figura 1], ordenados en base a tipologías estructurales y materialidad similares.

El análisis de estos datos proporciona la siguiente clasificación tipológica:

- Tipo 1: *Sistemas de pórticos*. Pequeñas estructuras a dos aguas de pórticos paralelos de perfiles de alma llena; sistemas de luces intermedias con apoyos externos a la excavación con pórticos de cerchas planas de geometría recta o curva, de perfiles de alma llena o combinación de ambos; estructuras de grandes luces a base de pórticos de vigas y pilares conformados por celosías planas o tridimensionales.

- Tipo 2: *Sistemas de entramado/mallas espaciales*. Entramados/mallas bidireccionales de acero o aluminio con uniones soldadas o atornilladas, o madera en unión atornillada o por estereotomía, compuestos por una o dos capas de: mallas planas a base de tetraedros, geometrías poliédricas irregulares, mallas de simple curvatura de una capa basadas en rombos, mallas de doble curvatura de una capa a partir de perfiles tubulares metálicos o perfiles de madera o dos capas de entramado de cerchas planas de geometría curva. Los apoyos pueden presentarse mediante soportes de acero de perfil simple, soportes múltiples a modo de trípode, pedestales de hormigón o pórticos planos de vigas y pilares de acero laminado.

- Tipo 3: *Sistemas autoportantes*. Cubiertas de chapa perfilada de acero de geometría de simple curvatura. Presentan apoyos lineales laterales resueltos sobre soportes aislados o sobre muros emergentes.

- Tipo 4: *Sistemas de membranas tensadas*. Cubiertas tensadas con mástil central y perímetro atirantado o enmarcadas en estructuras tubulares de arcos de acero laminado.

Los tipos indicados presentan relaciones diversas con la envolvente, predominando los sistemas de cubierta compatibles con estructuras ligeras mediante soluciones de chapa perfilada de acero combinada, con frecuencia, con paños de chapa translúcida para favorecer la iluminación natural, aunque sin control de radiación directa en la mayoría de los casos. Se han encontrado coberturas completas de paneles translúcidos de policarbonato celular. En otros casos se emplea chapa de acero como revestimiento de elementos base de tableros de madera, con o sin aislamiento térmico. Es habitual el uso de paneles sándwich de chapa de acero en estructuras porticadas de grandes luces. También se emplean cubiertas textiles como cobertura, atirantadas o no a estructuras de acero.

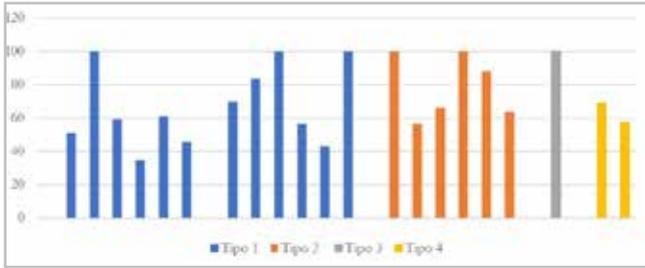
En la mayoría de los casos no existe envolvente vertical, generando un déficit de protección efectiva de la radiación solar, la erosión por acción del viento o la imposibilidad de realizar un control de las variables de temperatura y humedad.

Cuando sí existe, suele diseñarse con materiales ligeros. Su disposición busca el control parcial de la incidencia solar o el control de la iluminación natural, llegando incluso a modelos completamente cerrados combinando diversas soluciones de envolvente.

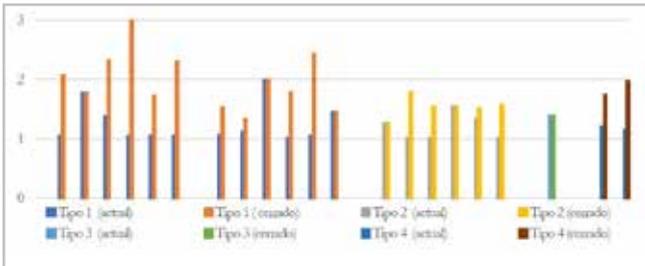
Respecto a la cimentación se observa que, en general, se emplean sistemas superficiales. En algunos casos se utilizan micropilotes para minimizar la superficie de apoyo. Suelen ser cimentaciones ejecutadas en el perímetro del yacimiento, especialmente en estructuras de grandes luces, combinadas con cimentaciones interiores a la excavación en algunas soluciones de entramado y porticadas, apoyándose en algunos casos de estructuras de pequeña escala sobre los elementos emergentes mediante durmientes. Normalmente, la incidencia de la cimentación vendrá determinada por las acciones de viento en sistemas ligeros con abundancia de soportes y por el peso propio en sistemas más pesados con reducción de soportes.

En el análisis de la relación entre la superficie de envolvente y la superficie cubierta en planta, se han evaluado dos familias de valores: la relación de superficies con la envolvente real (existen propuestas únicamente con envolvente de cubierta, con cerramiento parcial y cerradas en su totalidad) y los valores correspondientes a la hipótesis de edificio completamente cerrado. En la [Figura 2], se detalla el % de superficie de cobertura actual frente a la hipótesis de cerramiento completo del recinto.

En la [Figura3] se analiza la relación entre la superficie de envolvente y la superficie en planta. Se extraen valores máximos para el caso de envolvente real de 1,99 para sistemas Tipo 1, 1,54 para Tipo 2, 1,38 en Tipo 3, y 1,20 para Tipo 4, con un valor medio de 1,23. Según la [Tabla 1], sólo 10 modelos de los 22 estudiados cuentan con cerramiento, siendo además en 3 de los casos de tipo parcial.



**Figura 2.-** Porcentaje de envoltente actual respecto a edificio teórico cerrado. Casos de estudio. Fuente: elaboración propia.



**Figura 3.-** Relación de superficies de envoltente y superficie de planta. Casos de estudio. (Comparativa envoltente actual/ envoltente teórica edificio cerrado). Fuente: elaboración propia.

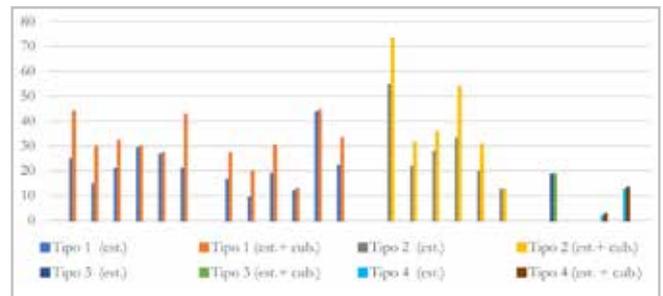
Para la hipótesis de cerramiento completo, los valores máximos pasan a ser de 2,98 para Tipo 1, 1,77 para Tipo 2, 1,38 en Tipo 3, y 1,97 para Tipo 4, con un valor medio de 1,72, suponiendo un aumento del 60 % respecto a los valores actuales, requiriendo en algunos casos una superficie de envoltente de hasta 3 veces la superficie en planta, lo cual supone una proporción de envoltente muy elevada respecto al espacio de cobertura necesario, en muchos casos debido al empleo de grandes alturas libres que suponen mayor exposición a agentes externos para los objetos excavados.

Cuando se analiza el peso propio por unidad de superficie cubierta, considerando primero el sistema estructural y, en segundo lugar, el conjunto que conforma con la envoltente

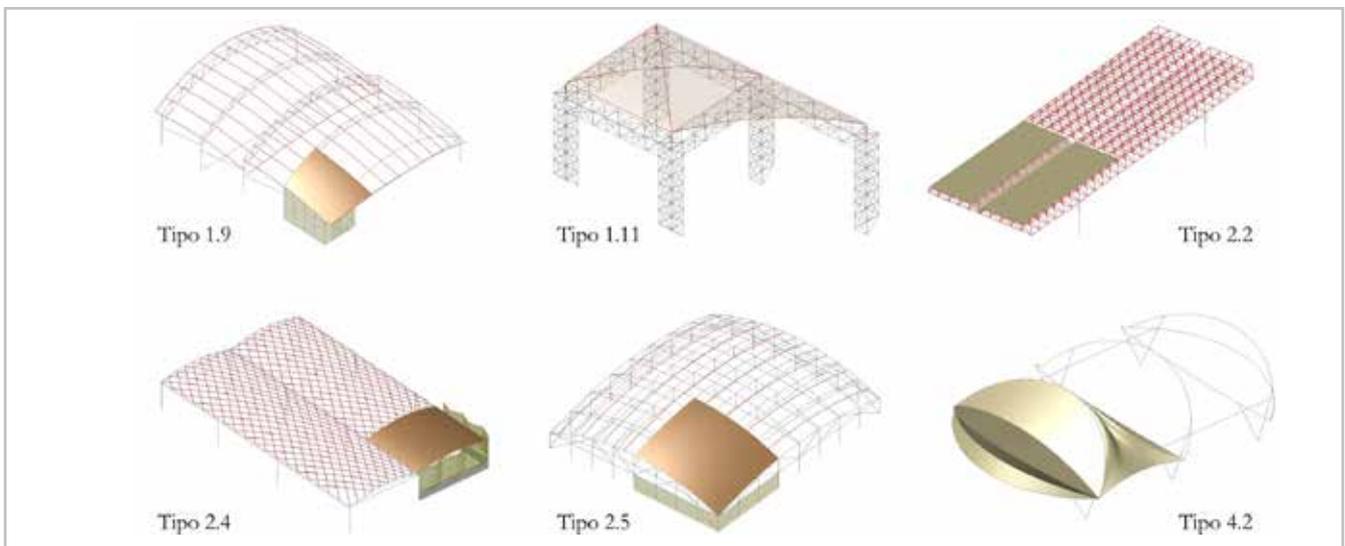
[Figura 4], se obtienen para el Tipo 1 un valor máximo de 43,40 kg/m<sup>2</sup>, con valor medio de 21,40 kg/m<sup>2</sup>, máximo de 54,37 kg/m<sup>2</sup> para sistemas Tipo 2, con valor medio de 28,06 kg/m<sup>2</sup>, 18,43 kg/m<sup>2</sup> para sistemas Tipo 3, y valores entre 1,72 y 12,26 kg/m<sup>2</sup> para el Tipo 4. Si se considera el peso del material de cobertura, los valores anteriores pasan a un valor máximo de 44,18 kg/m<sup>2</sup> para Tipo 1, con valor medio de 30,93 kg/m<sup>2</sup>, máximo de 73,17 kg/m<sup>2</sup> para Tipo 2, con valor medio de 39,36 kg/m<sup>2</sup>, los sistemas Tipo 3 no presentan variación, y valores entre 2,62 y 13,12 kg/m<sup>2</sup> para el caso de sistemas Tipo 4.

Al considerar el peso propio de cubierta, se aprecia un aumento del valor global en torno al 44,00% en sistemas Tipo 1, y del 40,00% para sistemas Tipo 2, poniendo de manifiesto la importancia de una correcta elección de envoltente acorde a la ligereza del sistema de estructura.

Al analizar los costes de ejecución y de mantenimiento, se obtienen los valores medios de repercusión en base a precio de contrata de ejecución (conforme a lo indicado en el pie de la tabla) [Figura 6], de 579,88 €/m<sup>2</sup> para el caso de Tipo 1, con valor máximo de 949,24 €/m<sup>2</sup>, de 669,75 €/m<sup>2</sup> con valor máximo de 1084,42 €/m<sup>2</sup> para Tipo 2, de 177,54 €/m<sup>2</sup> para



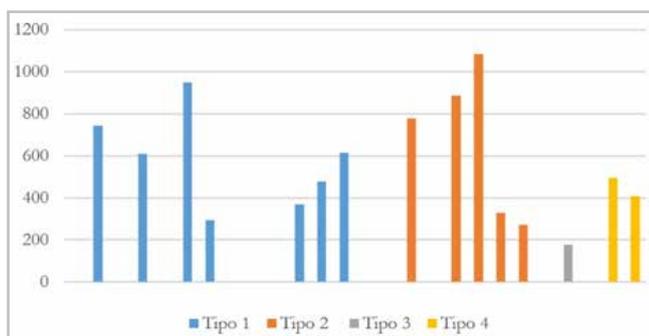
**Figura 4.-** Valores de peso propio (kg/m<sup>2</sup>) de estructura y estructura + cubierta. Casos de estudio. Fuente: elaboración propia.



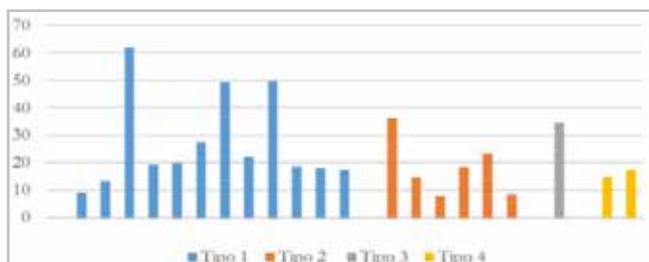
**Figura 5.-** Esquema estructural y de envoltente. Casos de estudio ACV. Fuente: elaboración propia.

Tipo 3, y de 452,43 €/m<sup>2</sup> para Tipo 4, con valor máximo de 495 €/m<sup>2</sup>, revelándose los sistemas de tipo autoportante y de membrana tensada como los de coste más reducido.

Al analizar la repercusión de coste de mantenimiento global de sistemas estructurales y de envolvente en sus 10 primeros años [Figura 7], se obtiene un valor medio de 27,17 €/m<sup>2</sup> para intervenciones Tipo 1, con un valor máximo de 61,96 €/m<sup>2</sup>, de 18,18 €/m<sup>2</sup> para Tipo 2, con un valor máximo de 36,18 €/m<sup>2</sup>, de 34,60 €/m<sup>2</sup> para Tipo 3, y de 16,14 €/m<sup>2</sup> para Tipo 4, con máximo de 17,36 €/m<sup>2</sup> revelándose como sistemas de menor coste en labores de mantenimiento, los tipos de entramado metálico ligero y de textil tensado.



**Figura 6.-** Coste de contrata €/m<sup>2</sup> corregido con variación de inflación a diciembre de 2023



**Figura 7.-** Coste de mantenimiento en 10 primeros años €/m<sup>2</sup> (estructura+envolvente)

Analizando la capacidad de adaptación de los sistemas previstos, a los procesos de evolución propia de los yacimientos fruto de la actividad arqueológica, encontramos que, sólo en el 47% de los casos, los sistemas de cobertura previstos presentan alta capacidad de ampliación gracias a su flexibilidad o modularidad.

Por otra parte, con el fin de evaluar el impacto visual y de integración en el yacimiento y el entorno de los sistemas analizados, se ha establecido, en base a criterios de adaptabilidad al contexto (Medlin 1979), ajuste a geometría del yacimiento (Schmidt 1988), relación formal (Giachentti 1994) o estrategia de intervención (Juste 2022), la siguiente clasificación:

1. Cubiertas interpretativas que evocan la volumetría.
2. Cubierta ajustada a la geometría.
3. Elemento de protección ligero de carácter temporal

de mínima unión al yacimiento.

4. Cubiertas sin relación formal a modo de cofre protector.
5. Cubiertas sin relación formal como elemento de sombra.
6. Cubiertas de impronta arquitectónica de gran impacto visual.

Encontrando que el 38% podrían encuadrarse en el grupo 4, y el 28% en el grupo 5 suponiendo otro 38% las actuaciones de mayor integración y ajuste a la geometría del yacimiento, representando únicamente un 4,70 % las intervenciones de impronta arquitectónica ajenas a la integración formal o interpretativa con el yacimiento.

Siguiendo la metodología, se evalúa el impacto medioambiental, mediante la metodología de Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Se han seleccionado 6 modelos, pertenecientes a las tipologías estructurales clasificadas, para mostrar la mayor diversidad posible de casos diferentes que cumplen la misma función [Figura 5].

Para el análisis de ACV se han seguido las normas UNE-EN ISO 14040-2006, UNE-EN ISO 14044-2006 y UNE-EN 15978-2012. El método plantea 4 fases principales: definición de objetivos, inventario de ciclo de vida, evaluación e interpretación de impactos durante el ciclo de vida.

La categoría de impacto y los indicadores utilizados se basan en publicaciones previas (Asdrúbali *et al.* 2017; Galán *et al.* 2015) en donde se señala la categoría de impacto "riesgo de calentamiento global" (GWP) como la más relevante para el estudio realizado.

Conforme a UNE-EN 15978-2012 se han considerado las siguientes fases del ciclo de vida:

- Fase de Producción, incluyendo materias primas (A1-2) y fabricación (A3).
- Fase de Construcción, se incluye transporte al yacimiento (A4) y proceso constructivo/ montaje (A5).
- Fase de Final de Vida. Se consideran la deconstrucción del modelo (C1), el transporte a vertedero o a planta de reciclaje (C2), proceso de desperdicios para reúso, recuperación o reciclado (C3) y disposición final (C4).

La fase de uso B1-7 no se ha incluido ya que se analizan estrategias de diseño (forma y materialidad) relacionadas con la reducción de la energía incorporada al proceso.

Como unidad funcional se ha establecido el sistema constructivo (cimentación+estructura+envolvente) por metro cuadrado. Se ha considerado en cada caso cimentación de HA suficiente para que actúe de lastre frente a acciones de viento.

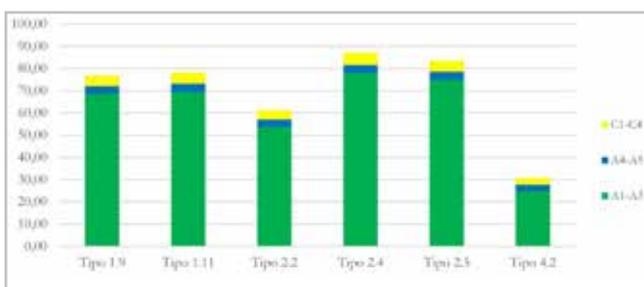
Se han considerado escenarios de transportes idénticos para todos los casos (A4: 10,0 km para elementos de la

cimentación y 15,0 km para estructura y envolvente; C2: 15,0 km en todos los casos). Para la cuantificación de la energía consumida durante las fases de construcción y deconstrucción, se han seguido las recomendaciones de Kellenberger (Kellenberger 2004). Se establece un escenario de final de vida de reciclado para el acero y de depósito en vertedero para el hormigón de cimentación una vez sometido a un proceso de clasificación.

La evaluación de impactos se ha realizado a partir de la cuantificación de materiales incluidas en la [tabla 1], los transportes, los procesos de montaje y desmontaje y los escenarios de disposición final que se han indicado. Los valores de impactos unitarios en GWP se han obtenido de la base de datos Ecoinvent 2.0 (Frischknecht *et al.* 2007).

En la [Figura 8] se muestran los resultados. En general, excluyendo el caso de membrana (Tipo 4.2), se obtienen valores de impacto total comprendidos entre 61,16 y 87,13 kgCO<sub>2</sub>Eq/m<sup>2</sup>. Destaca el caso del sistema de entramado de malla plana (Tipo 2.2) donde se registra el menor valor, debido a la mayor optimización de perfiles y carecer de envolvente vertical. Se situará igualmente fuera de este rango el caso de membrana tensada, con 30,61 kgCO<sub>2</sub>Eq/m<sup>2</sup>, gracias a la ligereza de su materialidad, pese a la influencia que en ocasiones tiene el volumen de hormigón empleado en las cimentaciones de estas estructuras debido a la acción de succión de viento.

Al tratarse todos los casos de sistemas ligeros, la fase de Producción (A1-3) es la que más contribuye al valor global del impacto (sobre un 87,50%) distribuyéndose en función del tipo de cimentación (8,00-10,00% del total de esta



**Figura 8.-** Valores de impacto GWP (KgCO<sub>2</sub>Eq/m<sup>2</sup>). Fuente: elaboración propia

fase, alcanzándose el 22,0% en membranas), del peso de la estructura y de la superficie de envolvente. La fase de construcción (A4-5) queda minimizada al tratarse de obras de montaje (5,50 %). La fase de Final de Vida (C1-C4) también contribuye relativamente poco al impacto global (7,00 %) gracias a los procesos de reciclaje de los elementos de acero que se han planteado.

El análisis realizado pone de manifiesto el margen de mejora que presentan los modelos estudiados en función de los diferentes parámetros que se han tenido en cuenta.

### Propuesta original de cobertura.

A partir de los resultados obtenidos en el apartado anterior, se propone un sistema original específico para cobertura de yacimientos a ras de suelo basado en las siguientes premisas:

- Solución optimizada en función de criterios de adecuación al yacimiento/entorno, posibilidades de uso y reducción del impacto medioambiental.
- Forma ajustable tanto a cubiertas como a cápsulas habitables, en función del peralte en la clave, minimizando el volumen a acondicionar según el tipo de uso del recinto una vez cubierto.
- Estructura mínima para dos capas de cobertura, con capa rígida exterior resuelta con malla de arcos de directriz parabólica con cobertura textil y capa flexible interior resuelta con membrana textil tensada desde la capa exterior.
- Desmaterialización de la envolvente manteniendo el control higrotérmico del espacio gracias a la ventilación, natural o forzada, del aire contenido entre las dos capas de cobertura.

La geometría elegida, óptima tanto desde el punto de vista mecánico como de minimización del volumen acondicionado, procede de una larga tradición de construcciones abovedadas [Figura 9] con directrices tipo catenaria y parabólica (Rudofsky 1964). Estas mismas geometrías discretizadas en mallas fueron propuestas por Frei Otto (Roland 1973) para cualquier tipo de planta de extrema ligereza. Son especialmente interesantes las propuestas del mismo autor para cubiertas neumáticas de grandes luces que reducen, aún más, la materialidad a emplear, siendo José Miguel Prada



**Figura 9.-** Referencias previas de uso de bóvedas cupuliformes en todo tipo de planta. Fuentes: de izquierda a derecha: (Rudofsky 1964), Frei Otto (Roland 1973) y JM Prada Poole (Prieto y Quintáns 2021).

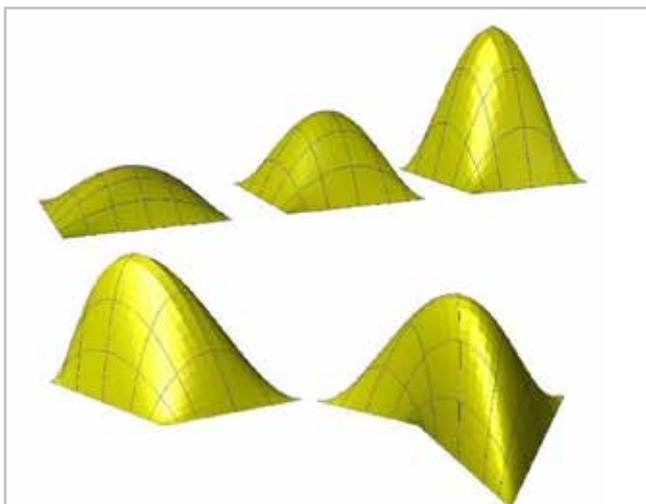
Poole quien avanzó en las posibilidades de generación de este tipo de geometrías y sus posibles combinaciones en proyectos complejos (Prieto y Quintáns 2021). El sistema propuesto continúa la evolución citada utilizando dos capas de membranas con una malla de una capa de estructura rígida. Este permite construir elementos optimizados desde el punto de vista formal material y sostenible, ya que al ser un sistema que no diferencia entre soportes y cubierta, por tratarse de una superficie continua, permite adaptar su geometría a las condiciones específicas de cada yacimiento (planta variable, variaciones de altura...), proponiéndose así una funcionalidad muy flexible.

Las geometrías que se generan proceden de la suma de dos superficies: cuártica (paraboloide hiperbólico de segundo grado) y cuádrlica (paraboloide elíptico), siendo a y b los semilados para planta rectangular y h el peralte en la clave, definida en fórmula [1].

$$[1] \quad z = \left( \frac{h}{a^2 b^2} x^2 y^2 \right) - \left( \frac{h}{a^2} x^2 + \frac{h}{b^2} y^2 - h \right)$$

Según la expresión anterior puede determinarse la geometría adaptada a un perímetro cualquiera (irregular) de cuatro lados en función de la teoría de la transformación de formas afines (Thompson 1961).

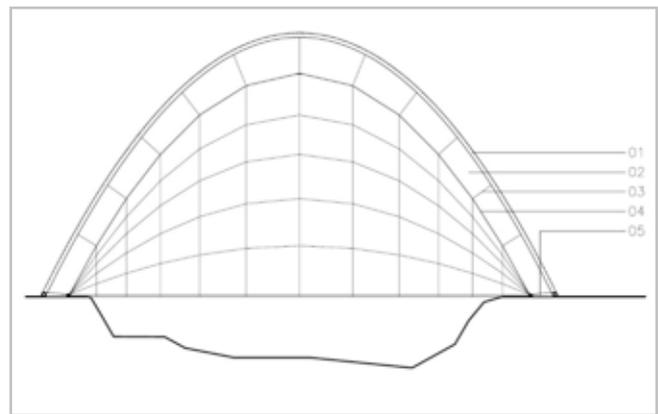
Desde el punto de vista constructivo, la cubierta se discretiza en dos familias de arcos parabólicos que conforman una malla de estructura de una sola capa. En función del perímetro, del número de partes (frecuencia) en las que se dividen sus lados y del peralte en la clave, las posibilidades tanto individuales como de combinación de elementos son infinitas [Figura 10]. Se ha previsto que la malla se construya con perfiles tubulares de acero laminado o con secciones de madera microlaminada. En el presente artículo se desarrollan formas construidas con mallas de perfiles tubulares de acero (S275/S355) porque son comparables con el estudio de casos realizado.



**Figura 9.-** Diferentes posibilidades geométricas resueltas con el sistema propuesto. Fuente: elaboración propia

Conforme a la [Figura 11], la membrana exterior de cobertura se adapta a la malla 1) y la interior 4) se tensa desde la malla mediante cintas de tensión de poliéster de alta tenacidad con mecanismos regulables basados en hebillas/tensores de acero inoxidable 3). La membrana exterior unida a la malla de la estructura 1) puede ser opaca/traslúcida (verano) o transparente (invierno). La membrana interior 4) siempre es opaca/traslúcida. Entre las dos capas de membrana se genera una cámara de aire 2) de espesores (arranques y clave) controlados desde el diseño para favorecer la circulación de aire. Los apoyos 5) se resuelven mediante anclajes al terreno o contrapeso de lastres o cimentación de HA, según el caso. A efectos de montaje, la malla se trasladará en el mínimo número de partes posibles. Todas las uniones a realizar en obra se plantean con chapas frontales y tornillería de acero 8.8.

En función de lo indicado, el sistema puede clasificarse dentro de los tipos 1, 2 y 3 de la clasificación de impacto visual propuesta en este artículo.



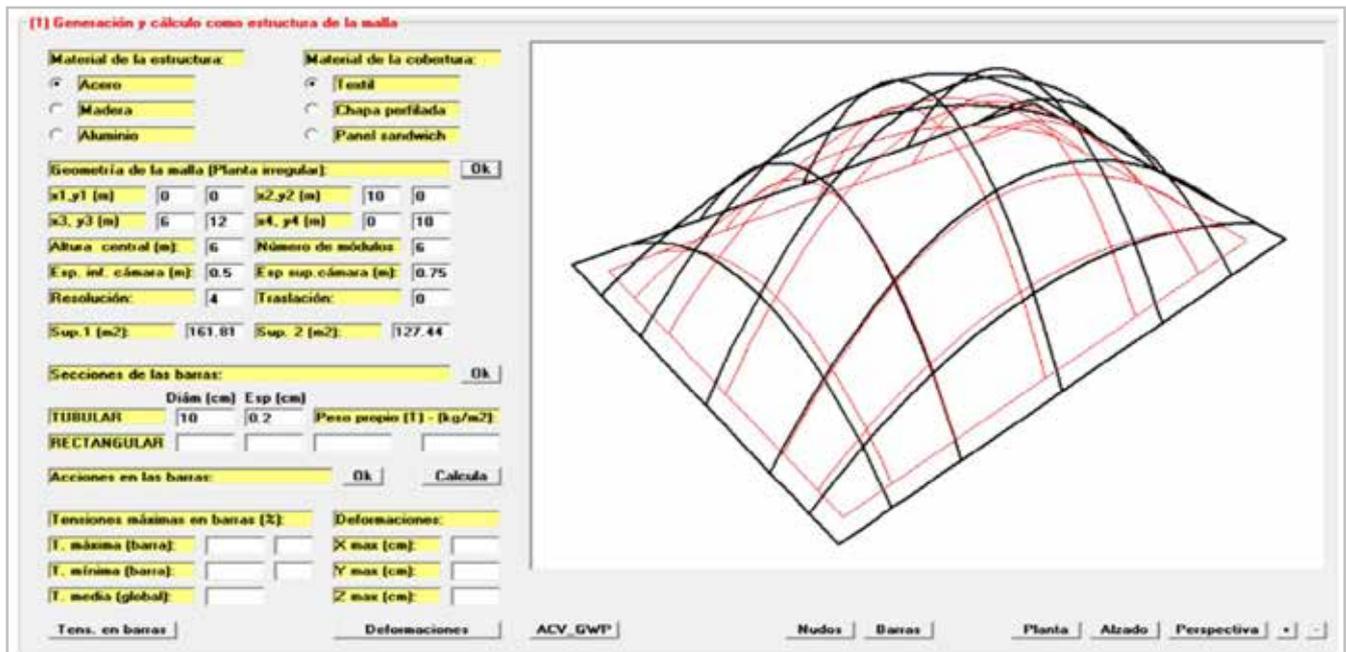
**Figura 11.-** Sección vertical de un caso concreto de cobertura. Fuente: elaboración propia.

### Desarrollo paramétrico del sistema propuesto

El sistema que se propone parte de un modelo que vincula las fases del Ciclo de Vida, conforme a UNE-EN 15978-2012, con las estrategias de diseño necesarias para reducir el impacto en cada fase [Tabla 2]. Se han incluido también las relacionadas con las fases B1-7 para que el modelo sea completo, aunque no sea objeto de estudio en el presente artículo (Gómez 2017).

A partir de las estrategias descritas, la entrada de datos adecuada, basada en la materialidad, geometría, frecuencia y diseño de uniones, permite obtener los parámetros finales de optimización: número de nudos, peso propio, superficie de envolventes e impacto medioambiental (GWP).

En la [Figura 12] se incluye una pantalla del software propio desarrollado con todas las funciones disponibles. A partir de los datos indicados (generando automáticamente geometrías, calculando la estructura y el impacto medioambiental para GWP) se encuentra la mejor solución atendiendo a los parámetros de optimización descritos. Una vez fijada la solución, se generan tanto el despiece de la malla de estructura



**Figura 12.-** Pantalla de software paramétrico de generación. Fuente: elaboración propia.

Fases de ACV	Parámetros
A1-3_Producción	Ligereza
A4-5_Construcción	Rápido montaje
B1-7_Uso	Flexible. Estrategias pasivas. Energías renovables.
C1-4_Final de vida	Reversible. Reciclable.

**Tabla 2.-** Estrategias de diseño del modelo propuesto.

como los patrones de las membranas textiles. El modelo se puede exportar a cualquier software de CAD/BIM.

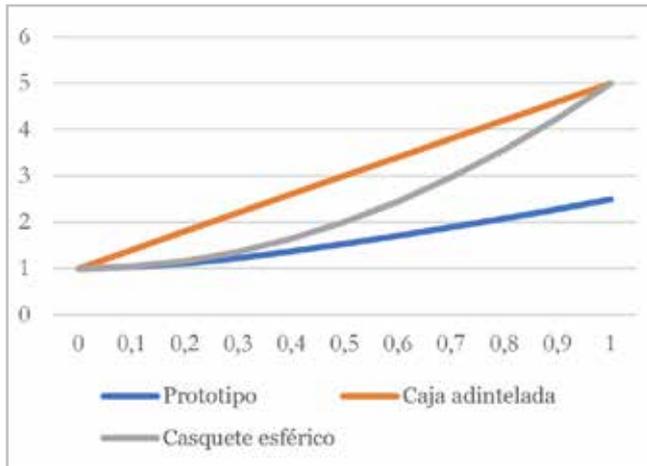
**Efectividad del sistema**

Con objeto de mostrar el potencial del sistema desarrollado y poder comparar los resultados obtenidos con el análisis de casos de estudio realizado, se han analizado una serie de ejemplos de planta cuadrada con luces comprendidas entre 10,00 y 40,00 metros y peraltes máximos en el centro entre L/8 y L/2 metros, resueltos con tubos de acero laminado (S275) y membranas textiles traslúcidas de poliéster con revestimientos de PVC. En cada caso, se han ajustado las frecuencias al tamaño en planta de la malla, teniendo en cuenta que deben permitir el paso de personas y enseres, a dimensiones entre tubos comprendidas entre 2,00 – 3,00 metros. Se ha considerado el caso más desfavorable al considerar una cimentación perimetral de vigas corridas de HA-25 y B500S.

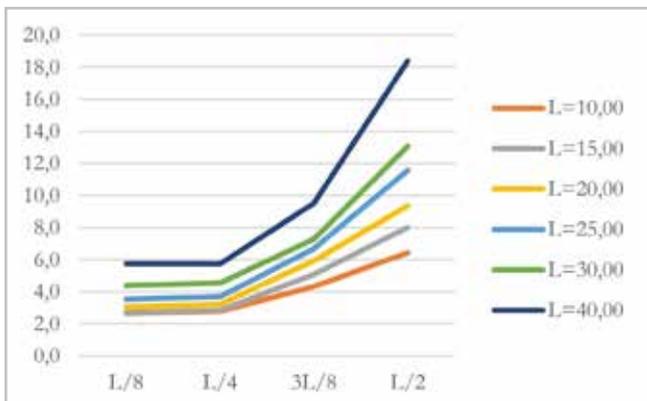
Para el cálculo de la estructura se han tenido en cuenta las acciones habituales (concargas+sobrecargas) en este tipo de estructuras y acciones de viento en presión y en succión, conforme a CTE-DB-SE. Para el cálculo de ACV se han seguido las mismas premisas que se han utilizado en el análisis del estudio de casos.

Los resultados obtenidos indican lo siguiente:

- Se ha obtenido la superficie máxima de la cobertura exterior para peraltes comprendidos entre 0,00 y L metros, estableciéndose la relación entre superficies de envolvente y en planta. En la [Figura 13] se comparan los resultados obtenidos con modelos adintelados cúbicos con 5 caras cubiertas y con casquetes esféricos. En todos los casos el sistema propuesto es el que mejores relaciones presenta minimizando tanto la superficie de envolvente necesaria como el volumen a acondicionar. Por ejemplo, para un peralte de 0,5 L el modelo presenta un coeficiente de 1,53 frente a 2,00 (esfera) y 3,00 (caja adintelada).
- Cuando se comparan los valores obtenidos con el estudio de casos realizado, en su hipótesis de edificio cerrado [Figura 3], se observa que el caso que más se aproxima es el Tipo 3 (con peralte de L/10), con un valor de 1,38, siendo superiores los valores máximos para el resto de las tipologías, con incrementos superiores al 90 % en algún caso (2,98 en sistemas porticados, 1,77 en entramados, y 1,97 en membranas tensadas).
- En la [Figura 14], para todos los casos analizados, se muestran los resultados obtenidos para las luces estudiadas con cuatro situaciones de peralte (L/8, L/4, 3L/8 y L/2). Para luces inferiores a 15,0 m los peraltes L/8 producen mallas de peso similares a las de L/4 como consecuencia de que para L/8 la malla no está optimizada por el bajo estado tensional correspondiente a los mínimos tubos existentes en el mercado. Los modelos de menor peso son los que corresponden a peralte de L/4 (muy próximo a L/8). Siempre que las condiciones del espacio a cubrir lo permitan, este es el rango óptimo de peralte a emplear.



**Figura 13.-** Relación entre sup. de envoltorio y sup. cubierta en planta para peraltes de 0,0L a 1,0L. Fuente: elaboración propia.



**Figura 14.-** Peso propio de la malla (kg/m<sup>2</sup>) en función de la luz y del peralte máximo central. Fuente: elaboración propia.

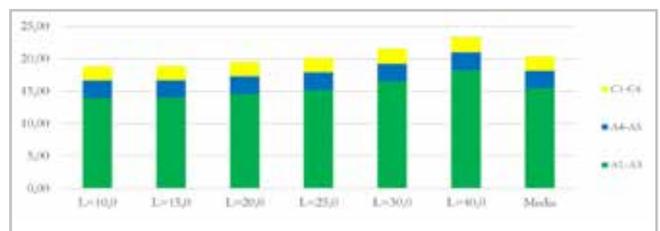
- Se comprueba que el sistema es extremadamente ligero, presentado valores de peso propio comprendidos entre 3,00 y 18,30 kg/m<sup>2</sup> para las luces analizadas.

- Cuando se comparan los valores obtenidos con los 21 casos de estudio, considerando solamente estructura y cubierta [Figura 4], se observa que únicamente se encuentran en el mismo rango las cubiertas con membrana tensada (2,62-13,12 kg/m<sup>2</sup>), resultando los valores para el resto de tipos claramente superiores, incluso en el caso de sistemas autoportantes de reducida materialidad (18,43 kg/m<sup>2</sup>), con valores medios elevados para el resto de tipologías (30,93 kg/m<sup>2</sup> sistemas porticados y 39,36 kg/m<sup>2</sup> en entramados).

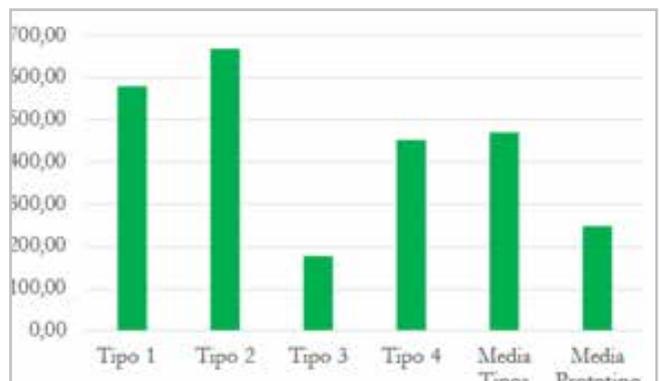
- En la [Figura 15] se resumen los resultados obtenidos en el ACV de las diferentes soluciones analizadas para un peralte de L/4. Estos alcanzan un valor medio próximo a 20,0 kgCO<sub>2</sub>Eq/m<sup>2</sup>. Teniendo en cuenta la rapidez del montaje/desmontaje del sistema y el potencial de reciclado de los productos empleados, el impacto producido en las fases A4-5 (construcción) y C1-4 (final de vida) queda minimizado frente al producido por las fases A1-3 (producción). Al comparar los valores con los 21 modelos estudiados [figura 6], se aprecia que únicamente

se acercan al valor del prototipo los modelos de membrana (30,61 kgCO<sub>2</sub>Eq/m<sup>2</sup>), quedando el resto en un rango entre 61,16 y 87,13 kgCO<sub>2</sub>Eq/m<sup>2</sup>, dejando patente el alto grado de sostenibilidad del sistema propuesto.

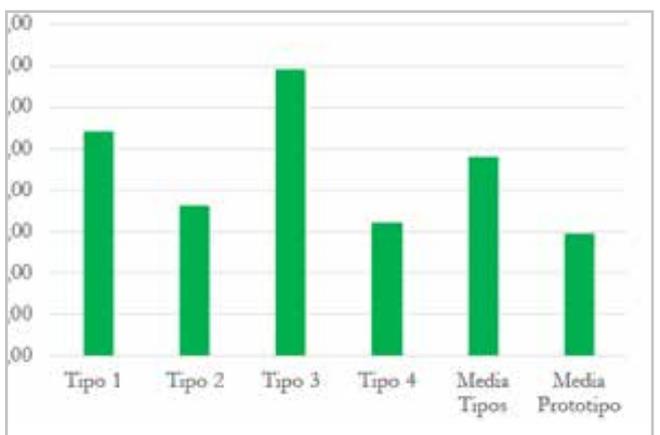
- Si se comparan los costes de ejecución y mantenimiento de los modelos propuestos con el estudio de casos [Figuras 16 y 17], se observa que el valor medio de coste de ejecución del sistema propuesto resulta un 47,19% inferior al valor medio de los modelos de estudio, siendo además su valor medio de coste de ejecución en los 10 primeros años un 38,38% inferior al valor medio de dicho parámetro en casos de estudio, y próximo al valor obtenido para el caso de Tipo 4.



**Figura 15.-** Resultados de ACV (GWP, KgCO<sub>2</sub>Eq/m<sup>2</sup>). Fuente: elaboración propia



**Figura 16.-** Comparativa coste ejecución de contrata tipos y prototipo (€/m<sup>2</sup>).



**Figura 17.-** Comparativa coste mantenimiento 10 primeros años tipos y prototipo (€/m<sup>2</sup>).

## Conclusiones

Se constata que no existen demasiados estudios centrados en el ámbito patrimonial que utilicen herramientas paramétricas en tiempo de diseño que tengan en cuenta el impacto medioambiental para optimizar un conjunto de soluciones posibles.

Se pone de manifiesto que la mayoría de coberturas analizadas no se adaptan correctamente a las exigencias de un yacimiento, son excesivamente pesadas y producen un impacto medioambiental (GWP) que podría reducirse bastante.

Se ha propuesto un modelo que relaciona sus estrategias de diseño (ligereza, rapidez de montaje, flexible, reversible y reciclable) con las diferentes fases de ACV a efectos de minimizarlas. A partir de sus múltiples posibilidades, se ha desarrollado un sistema constructivo basado en mallas de arcos parabólicos de una capa con doble cobertura de membranas tensadas, cuyo diseño se optimiza a partir de un proceso paramétrico. Los resultados obtenidos, resumidos a continuación, avalan tanto la viabilidad del modelo como el desarrollo instrumental que se ha hecho de éste.

El sistema propuesto, frente a los 21 casos analizados, reduce la cantidad de estructura de acero a emplear entre el 50,00% y 75,00% (siendo las mejores soluciones las que presentan peraltes de L/4). Respecto a la envolvente, se demuestra que la forma parabólica reduce su superficie frente a sistemas adintelados un 41,86% para peraltes de L/4 y 48,97% para peraltes de L/2. Disminuyen también las tareas de fabricación y montaje gracias a la elección de mallas de una sola capa con la frecuencia adecuada que reduce el número de uniones a fabricar y montar.

La minimización tanto de productos como de tareas a realizar tiene una repercusión favorable en la reducción del impacto medioambiental del sistema propuesto frente a al resto de coberturas analizadas. Así, el impacto obtenido para GWP de 20,0 kgCO<sub>2</sub>Eq/m<sup>2</sup>, se reduce un 34,66% respecto a los sistemas más ligeros, Tipo 4, y entre un 67,53% y 77,05% respecto al resto.

El sistema propuesto resulta de gran adaptabilidad a los procesos evolutivos del yacimiento, pudiendo generar coberturas con mínima unión al yacimiento ajustadas a su geometría, e incluso evocando volumetrías que favorezcan la interpretación del yacimiento, con reducidos costes de ejecución y mantenimiento.

## Futuras líneas de investigación

Tal como se ha indicado, el modelo propuesto busca la protección efectiva total del yacimiento en función del control higrotérmico de la cámara de aire que se genera. En la actualidad se está construyendo un prototipo monitorizado para evaluar su comportamiento en un caso real tanto en

clima frío como cálido. Los resultados que se obtengan se expondrán en próximos artículos.

## Referencias

- ASDRUBALI, F. ET AL. (2017). "A review of structural, thermo-physical, acoustical, and environmental properties of wooden materials for building applications". *Build. Environ*, 114, 307-332. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.033>.
- ASLAN, Z. (1997). "Protective Structures for the Conservation and Presentation of Archaeological Sites", *Journal of Conservation and Museum Studies*, 3: 16–20. <https://doi.org/10.5334/jcms.3974>.
- BONELLI, M., y F. BEGLIARDO, H. (2016). "Optimización de Armaduras Planas Mediante Diseño Paramétrico y Algoritmos Genéticos: Efecto de la no Correspondencia Objeto Real-Modelo Idealizado". *Mecánica Computacional*, XXXIV, 501-515.
- CABELLO, C. (2018). "Descubrir para cubrir. ¿Son las cubiertas sobre yacimientos arqueológicos realmente beneficiosas?". En *VI Congreso GEIIC. ¿Y después? Control y mantenimiento del Patrimonio Cultural, una opción sostenible*, Vitoria-Gasteiz: Grupo Español del IIC, 384-389.
- CAMPOREALE, P.E. (2012). "El Uso de Algoritmos Genéticos en el Diseño Paramétrico de Edificios Energéticamente Eficientes: el Coeficiente G y el Consumo Anual de Energía". En *XV Congreso Ibérico y X Congreso Ibero Americano de Energía Solar*. Vigo. Universidad de Vigo, 27-32.
- DÍAZ, S. (2005). "La Conservación de los Yacimientos Arqueológicos In Situ". *Boletín Arkeolan*, 13: 110-130.
- EDMONDS, A. ET AL. (2022). "Parametric Design—A Drive Towards a Sustainable Future". *Innovation in Construction*. Springer: Cham. Ghaffar, S.H. et al. (Eds). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-95798-8\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-95798-8_10).
- FAREZ, J. ET AL. (2019). "Parametric Structural Design". *Arquitecto*, 14, 15-23.
- FRISCHKNECHT, R., ET AL. (2007). *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods: Data v2.0*. Dübendorf, Swiss: Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Ecoinvent Report. 3.
- GALÁN, C. ET AL. (2015). "Embodied energy of conventional load-bearing walls versus natural stabilized earth blocks". *Energy Build*, 97, 146-154. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.03.054>.
- GIACHENTTI, M. (1994). "Dei Mosaici e Aree Archeologiche: Problema di Competenze e non di Metodología". En *Fifth conference of the international committee for the conservation of mosaics*, Faro e Conimbriga: ICCM, 145-150.
- GÓMEZ, J. C. ET AL. (2017). "Lightweight and Quickly Assembled: the Most Eco-Efficient Model for Architecture". *International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements*. 5 (4). 539-550.

GÓMEZ, J. C. ET AL. (2019). "Life cycle assessment as a decision-making tool for selecting building systems in heritage intervention: Case study of Roman Theatre in Itálica, Spain". *Journal of Cleaner Production*. 206. 27-39.

HOLZER, D. ET AL. (2007). "Parametric Design and Structural Optimisation for Early Design Exploration". *International Journal of Architectural Computing*, 4 (5), 625-643.

HUA, H. ET AL. (2022). "Reconfigurable Modular System of Prefabricated Timber Grids". *Computer-Aided Design*, 146, 2022,103230. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2022.103230>.

JUSTE, I., (2022) "Intervenciones arquitectónicas en ámbitos arqueológicos", *PH* 106: 36-61. <https://doi.org/10.33349/2022.106.5045>.

KELLENBERGER, D. (2004). *Life Cycle Inventories of Buildings Products. Data v1.1*. Dübendorf, Swiss: Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Ecoinvent Report. 7.

MATEUS, L. ET AL. (2014). "Architecture and Parametric Design: A Prototype for a Kiosk". En: *High Value Manufacturing. Advance Research Virtual and Rapid Prototyping*, 493-496. London: Bártole et al (Eds). ISBN 978-1-138-00137-4.

MEDLIN, R.L. (1979) "Tipos de Adaptabilidad". *Arquitectura Adaptable 1974*. En Coloquio Internacional Sobre Arquitectura Adaptable Universidad de Stuttgart. Barcelona: Gustavo Gili, (Ed): 136-137.

MONCASTER, A.M. ET AL. (2018). "Why method matters: Temporal, spatial and physical variations in LCA and their impact on choice of structural system". *Energy Build*. 173. 389-398.

NOVYSEDLÁK, P. (2021). "Parametric Design of Tensile Structures". En *International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures*. On line Conference: International Centre for Numerical Methods in Engineering. Barcelona, Spain.

-ORDÓÑEZ, M. y GÓMEZ, J.C., (2020) "Coberturas sostenibles en excavaciones arqueológicas. Metodología de aplicación al caso de mosaicos en el Conjunto Arqueológico de Itálica, Santiponce, Sevilla", *Ge-Conservación* 17: 202-214. <https://doi.org/10.37558/gec.v17i1.757>.

ORDÓÑEZ, M., GÓMEZ, J. ET AL. (2022). "Coberturas de Yacimientos a ras de suelo en el ámbito español. Clasificación tipológica y análisis de protección efectiva". *Ge-conservacion* 22: 90-106. <https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.1097>.

PRIETO, N. y QUINTÁNS, E. C. (2021). *Prada Poole: Estructuras de aire, utopías construibles*. Madrid: Asimétricas.

RODRÍGUEZ, I. (2014). *Investigar, conservar, difundir. El Proyecto Guirnaldas en el Conjunto Arqueológico de Carmona*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

ROLAND, C. (1973). *Frei Otto: Estructuras: estudios y trabajos sobre la construcción ligera*. Barcelona: Gustavo Gili.

RUDOFISKY, B. (1964). *Architecture without architects*. Academy Editions.

SAITO, K.E. ET AL. (2009). "Prototipos con Forma Plegada Animada. In Forma y Contexto". En *VII Congreso Nacional y IV Internacional. Sema 2009*. Tucumán: Fau-Unt. Sema-Arsnoa (Eds).

SCHMIDT, H. (1988). *Schutzbauten*. Stuttgart: Konrad Theiss Verlag.

THOMPSON, D'ARCY (1961). *Sobre el crecimiento y la forma*. London: Cambridge University Press.

## Autor/es



### Mauel Ordóñez Martín

[maormarq@us.es](mailto:maormarq@us.es)

Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1. Universidad de Sevilla. E.T.S. Arquitectura

<https://orcid.org/0000-0002-3068-0882>

Licenciado Arquitecto por Universidad de Sevilla (2000). Máster Universitario en Arquitectura y Patrimonio Histórico por Universidad de Sevilla (2005). Máster en Arquitectura y Patrimonio Histórico por Universidad de Sevilla (2012). Profesor Asociado del Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla (2007-Actualidad). Profesor de Máster en Proyecto de Instalaciones en Arquitectura de la Universidad de Sevilla (2011-2018). Miembro del Grupo de Investigación TEP 130: Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Acústica, Iluminación, Óptica y Energía. Doctorando con tesis en redacción: Análisis y Desarrollo de Coberturas Temporales Eficientes en Yacimientos Arqueológicos. Se puede consultar su producción científica completa en: [https://investigacion.us.es/sisius/sis\\_showpub.php?idpers=7429](https://investigacion.us.es/sisius/sis_showpub.php?idpers=7429)



### Juan Carlos Gómez de Cózar

[gcozar@us.es](mailto:gcozar@us.es)

Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1. Universidad de Sevilla. E.T.S. Arquitectura

<https://orcid.org/0000-0001-5480-5929>

Dr. Arquitecto. Profesor Titular de Universidad adscrito al Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1 en la E.T.S. Arquitectura de la Universidad de Sevilla. Director del Máster Universitario en Innovación en Arquitectura: Tecnología y Diseño (desde el curso 2009/10 hasta la actualidad). Pertenece al Grupo de Investigación TEP 130: Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Acústica, Iluminación, Óptica y Energía. Autor de numerosas publicaciones, patentes y de una amplia trayectoria en transferencia basada en la producción de soluciones ligeras, de rápido montaje y sostenibles para la arquitectura. Se puede consultar su producción científica completa en: [https://investigacion.us.es/sisius/sis\\_showpub.php?idpers=5478](https://investigacion.us.es/sisius/sis_showpub.php?idpers=5478)



**Rosa Mª Benítez Bodes**

[onuris.arquitectura@gmail.com](mailto:onuris.arquitectura@gmail.com)

Universidad de Sevilla. E.T.S. Arquitectura

<https://orcid.org/0000-0001-5586-5122>

Doctorado en Arquitectura (Universidad de Sevilla). Máster en Arquitectura y Patrimonio (Universidad de Sevilla / IAPH). Técnico Termógrafo Nivel 1 (Infrared Training Center ITC). Autora de varias publicaciones, se puede consultar su trayectoria investigadora y producción científica en: <https://cvn.fecyt.es/0000-0001-5586-5122>

Artículo enviado 24/05/2023  
Artículo aceptado el 26/04/2024



<https://doi.org/10.37558/gec.v25i1.1208>



## Identification of documented constructive stages of the San Ignacio Bridge (Aguascalientes, Mexico) using electrical resistivity tomography (ERT)

Raudel Padilla-Ceniceros, Jesús Pacheco-Martínez, Norma González-Cervantes, Michelle Ivonne López-Escobar, Miguel Ángel Soto-Zamora, Hugo Luna-Villavicencio, Isaí Gerardo Reyes-Cedeño

**Abstract:** The non-destructive technique known as Electrical Resistivity Tomography (ERT) has been used in the analysis of historical buildings in recent years. It provides insights into the internal structure of the structural elements, such as layer thicknesses, and potential irregularities. In this investigation the ERT technique was applied to the ancient San Ignacio Bridge, located in the state of Aguascalientes, Mexico. The resulting resistivity profiles unveil the primary construction stages of the bridge, which corroborate and enhance the historical information regarding its construction phases. Additionally, the profiles indicate the presence of moisture concentrations in the pavement fillings, which could be attributed to rainwater infiltration. The usefulness of the ERT technique applied to edified patrimony is demonstrated in this study.

**Keywords:** Electrical Resistivity Tomography, San Ignacio Bridge, constructive stages, historical information

## Identificación de etapas constructivas documentadas del Puente de San Ignacio (Aguascalientes, México) mediante tomografía de resistividad eléctrica (TRE)

**Resumen:** La técnica no destructiva conocida como Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) se ha utilizado en el análisis de edificios históricos en los últimos años. Proporciona información sobre la estructura interna de los elementos estructurales, como el grosor de las capas y posibles irregularidades. En esta investigación, se aplicó la técnica TRE al antiguo Puente San Ignacio, ubicado en el estado de Aguascalientes, México. Los perfiles de resistividad resultantes desvelan las etapas primarias de construcción del puente, lo que corrobora y enriquece la información histórica sobre sus fases de construcción. Además, los perfiles indican la presencia de concentraciones de humedad en los rellenos del pavimento, que podrían atribuirse a la infiltración de agua de lluvia. La utilidad de la técnica de ERT aplicada al patrimonio edificado se demuestra en este estudio.

**Palabras clave:** Tomografía de Resistividad Eléctrica, Puente de San Ignacio, etapas constructivas, información histórica

## Revelação das etapas de construção documentadas nos registros históricos da Ponte San Ignacio, Aguascalientes, México, mediante medições de Tomografia de Resistividade Elétrica (ERT)

**Resumo:** A técnica não destrutiva conhecida como Tomografia de Resistividade Elétrica (TRE) tem sido utilizada na análise de edifícios históricos nos últimos anos. Fornece informações sobre a estrutura interna dos elementos estruturais, como espessura das camadas e possíveis irregularidades. Nesta pesquisa, a técnica TRE foi aplicada à antiga Ponte San Ignacio, localizada no estado de Aguascalientes, México. Os perfis de resistividade resultantes revelam as etapas primárias de construção da ponte, corroborando e enriquecendo a informação histórica sobre as suas fases de construção. Além disso, os perfis indicam a presença de concentrações de humidade nos preenchimentos do pavimento, o que pode ser atribuído à infiltração de águas pluviais. A utilidade da técnica ERT aplicada ao património edificado é demonstrada neste estudo.

**Palavras-chave:** Tomografia de Resistividade Elétrica, Ponte San Ignacio, etapas de construção, informações históricas

## Introduction

One of the activities involved in the diagnosis of the conservation status of built heritage is historical research into the construction process used, the documented alterations and modifications, as well as the interventions that the building has undergone throughout its history. Although the data revealed by historical research is often anecdotal and imprecise, it provides information to understand many of the pathologies that currently affect the building. Furthermore, once the construction has been reviewed in more detail, it is possible to find discontinuities in the construction system or in the materials that demonstrate and corroborate the data obtained from the historical research. This paper presents the application of the electrical resistivity tomography (ERT) method as an auxiliary tool for verifying the history of the construction stages of an 18th century bridge in the city of Aguascalientes, Mexico.

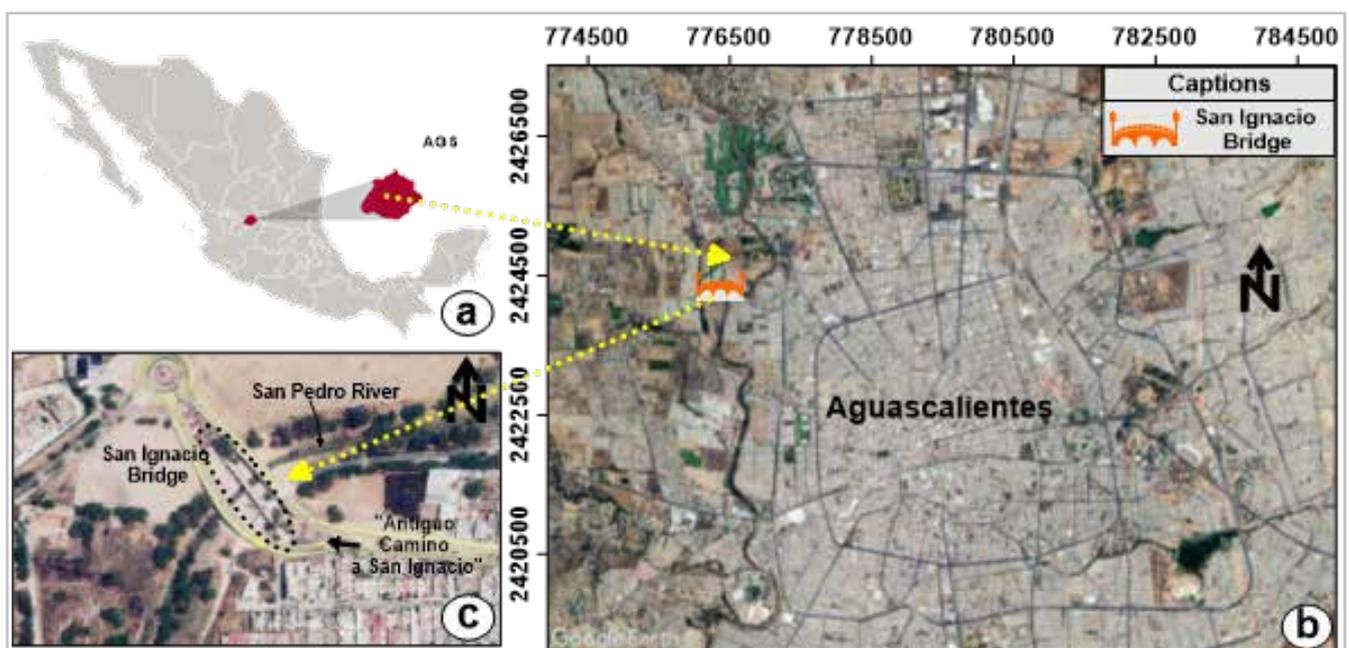
The bridge locally named San Ignacio is located northeast of the city of Aguascalientes and represents a monumental building from the 18th Century that spans the San Pedro River [Figure 1 and 2]. Originally, the bridge was an integral part of a secondary road called the "Camino Real de Tierra Adentro" which was designated as an UNESCO World Heritage Site in 2010 (World Heritage Committee 2010). However, the bridge itself was not included in this declaration but it is included in the Mexican catalog of historical monuments of the National Institute of Anthropology and History (INAH).

Other studies have shed light on the main constructive stages of the building (Boils-Morales, 2009; Soto-Zamora, 2017), although these studies only present limited data and partial physical evidence in their analysis. Despite the

incomplete information, the stages of construction can be classified as follows:

- The first stage began in 1743 and concluded in 1759, leaving only the parapets and road pavement unfinished. Unfortunately, the completion of the bridge was abruptly halted due to the flooding of the San Pedro River, which caused a partial collapse of the structure (Boils-Morales 2009).
- The second stage marked the initial reconstruction phase after the partial collapse, spanning from 1760 to 1797 (Boils-Morales 2009).
- Moving into the early 20th century, the third intervention involved replacing the original boulder paving of the bridge road with a layer of tiling made of blocks of foundry slag. Additionally, damaged sections of the parapets were substituted with the same type of blocks (Soto-Zamora, 2017).
- The activities of the most recent phase occurred in the early 1980s and entailed the realignment of the avenue. This included replacing the pavement on the north and south approaches of the bridge, as well as reconstructing the southern approach to align it with the new avenue. Moreover, reinforced concrete parapets were constructed during this phase (Soto-Zamora 2017).

The latter two events are evidenced by a photograph from the early 20th century [Figure 2a], which depicts one edge of the bridge showcasing the original paving and an approach that followed a different direction than the current one. Below is a summary of the events [Table 1] described above:



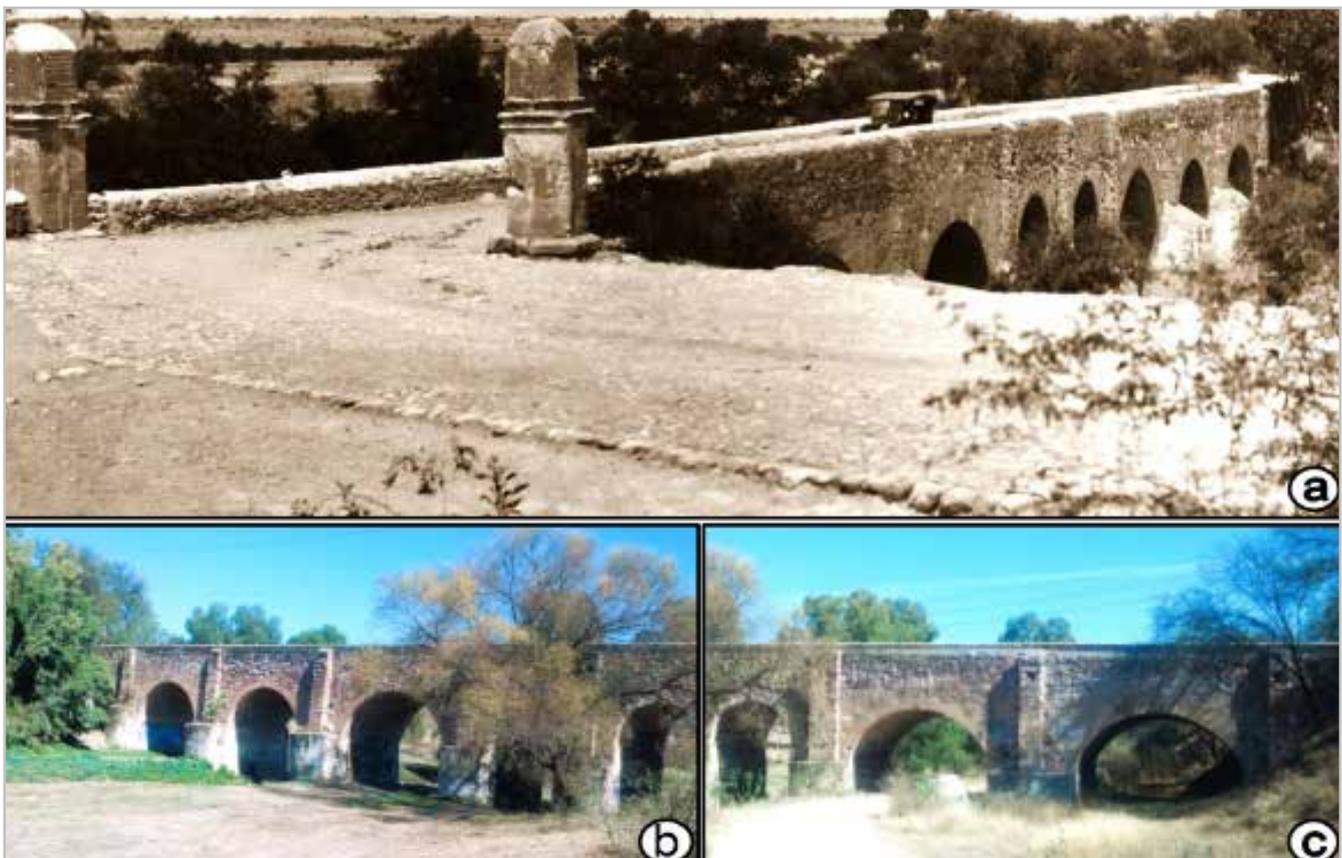
**Figure 1.-** Location and images of the bridge of San Ignacio. a) Map with the political division of the Mexican Republic where the state of Aguascalientes (AGS) is highlighted, b) and c) Depicts the large-scale and small-scale positioning map in the city of Aguascalientes.

Period	Events or activities
1743 to 1759	Construction beginning
1760 to 1797	Construction of the structure after a partial collapse
Beginning of the XX Century	Construction of a layer of tiling with blocks of found-ry slag.
Beginning of the eighties	Rectification of the layout of the avenue

**Table 1.-** Events and periods according to the historical sources

The last two events mentioned above are corroborated in the photograph at the beginning of the 20th century, depicting one edge of the bridge. In the photograph, the original stonework and an approach that follows a different direction to the current one can be observed [Figure 2a].

On the other hand, several authors have shown interest in the study of heritage building constructions (Sass and



**Figure 2.-** Old and recent images of the San Ignacio Bridge. a) Photo from the beginning of the XX century. Original boulder paving and the approach with a different direction than the current one. b) Arcs from axis A to H are shown. c) Arcs from axis G to J are shown [Figure 4].

Viles 2006; Tsokas *et al.* 2008; Quesnel *et al.* 2011; Fauchard *et al.* 2013; Ghilardi *et al.* 2015; Evangelista *et al.* 2017; Martínez-Garrido *et al.* 2018; Hegyi *et al.* 2019; Cozzolino *et al.* 2020; Ortega-Ramírez *et al.* 2020, López-Gonzalez *et al.* 2022) in order to understand their characteristics and particularly their weaknesses, expanding knowledge of intangible aspects such as reconstructing history, and disseminating it through historical documentation, as well as in the use of non-invasive techniques such as the seismic method, ground penetrating radar (GPR), and electrical resistivity tomography (ERT).

ERT and GPR are recognized as the most used non-destructive methods in archaeology and the preservation of heritage buildings, due to their flexibility, adaptability, and ability to produce high-resolution results and images (Quesnel *et al.* 2011; Fauchard *et al.* 2013; Angelis *et al.*

2018; Hegyi *et al.* 2019; Cozzolino *et al.* 2020; Deiana and Previato 2023).

Some authors (Tsokas *et al.* 2007, 2008; Compare *et al.* 2009; Quesnel *et al.* 2011; Evangelista *et al.* 2017; Hegyi *et al.* 2019; Cozzolino *et al.* 2020) have focused on investigating buried structures belonging to ancient constructions. These studies aim to preserve remnants and verify information from documentary sources or records using various techniques, including ERT. In Mexico, notable studies have been conducted in the Cathedral of Puebla city (Ortega-Ramírez *et al.* 2020), the pyramid of Chichen Itza (Tejero-Andrade *et al.* 2018) and in the archaeological site of El Pahñú, in central Mexico (Argote-Espino *et al.* 2013), to define the internal structures built prior to the existing buildings and analyze moisture conditions in the subsurface and structures exposed to the elements.

Similar studies can also be found in the literature, such as the research conducted by Ghilardi *et al.* (2015), which determined the construction and disappearance dates of the Avignon Bridge in southern France using sedimentological and stratigraphic evidence with the ERT technique. Similarly, Fauchard *et al.* (2013) employed both ERT and GPR to investigate the internal structure and characterize the foundations of a small masonry arch bridge in Normandy, France.

In addition to the aforementioned approaches, these techniques have also been used to assess deteriorated areas, detect voids, measure sulfate content, and characterize construction materials that could potentially cause fractures or other damage to structures (Tsokas *et al.* 2007; Cardarelli and Di Filippo 2009; Tsourlos and Tsokas 2011; Di Maio *et al.* 2012; Argote-Espino *et al.* 2013; Cardarelli *et al.* 2016; Ercoli *et al.* 2016; Angelis *et al.* 2018; Hauquin and Mourey 2019).

This paper presents an application of Electrical Resistivity Tomography (ERT) to find out evidence of the main constructive stages and verify the documented interventions in the history of a heritage bridge, while providing evidence

of the reconstructions throughout history. Additionally, electrical resistivity profiles are used to evaluate the condition of the fillings, taking into account the materials' heterogeneity and moisture content.

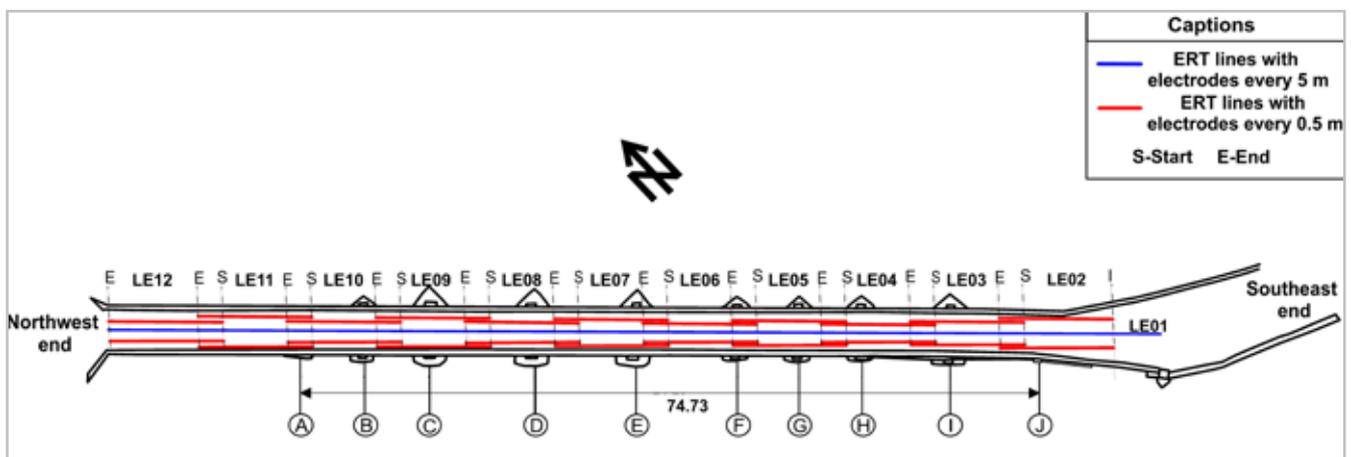
### Materials and Methods

For the development of the ERT measurements, a 24-electrode Syscal Junior R1 Plus resistivimeter with dipole-dipole arrangements was used [Figure 3a].

The electric measurements were applied on the pavement of the bridge in longitudinal arrangement, 23 in total. An ERT measurement of 105 m long was made, covering the entire length of the bridge [Figure 4], in order to obtain general information about the bridge. In addition, 22 ERT measurement profiles were made on the road pavement, distributed as shown in Figures 3b and 4, with a length of 11.5 m and electrode separation at every 0.5 m, to obtain a better definition of the bridge fills up to approximately the level of the impost (2m deep). These profiles were measured at a distance of 0.5 to 1 m from the bridge parapets, with an



**Figure 3.-** a) Syscal Junior R1 Plus resistivity meter used in the measurements on the bridge b) ERT measurement with electrodes every 0.5 m at the north end of the bridge.



**Figure 4.-** Main characteristics of the San Ignacio bridge. a) Location of the ERT lines in plan view. The edges of the lines are indicated.

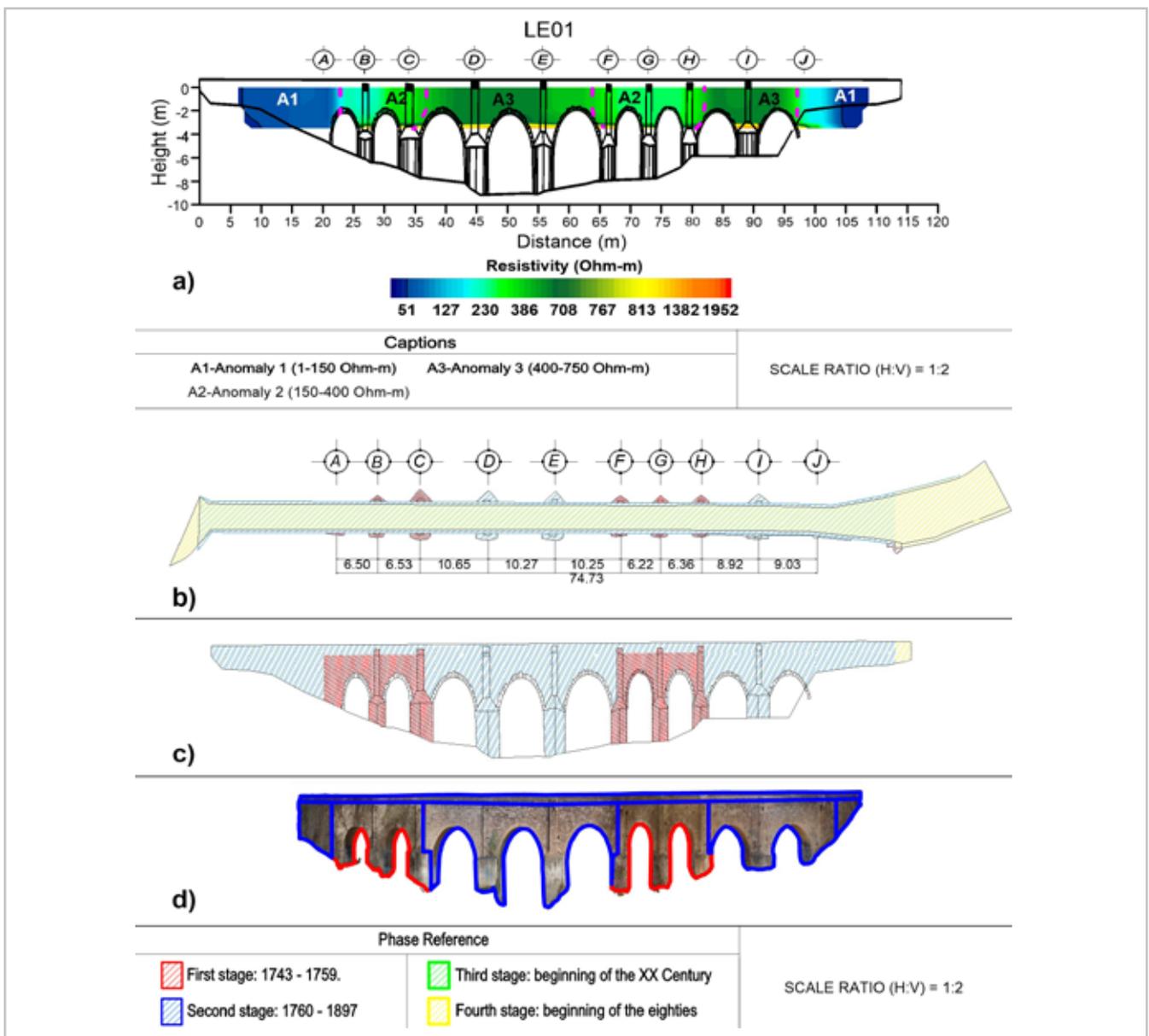
overlap of 6 electrodes between lines to have continuity in the profiles.

The measured field data is known as the apparent resistivity because it has the contribution of all the construction elements and their materials, but in the case of the measurements made, there is also an effect of the empty space around the bridge that we will call the effect of the geometry.

The field data were processed using the RES2DINV software to develop the resistivity model shown in Figure 5a, which shows the resistive anomalies due to the construction elements and their materials, and a distortion of the anomalies due to the effect of the geometry.

The axes labeled A-J on the plan [Figure 4] were established during the preparation of the architectural plans and serve as key reference points in this study. These axes are positioned within the buttresses at the center of each pilaster. The sequence of axes starts from the northwest and extends to the southeast.

Profiles LE02 through LE12, SW, and NE were located on the longitudinal elevation profile and areas of greatest interest were highlighted. On the area of the arches, the models were cut at a depth of 1.7 m at the lower level of the keystone due to the high resistivity values (greater than 10,000 Ohm-m) that corresponded to the empty space below the arches [Figure 6 and 7].



**Figure 5.-** Identification of the construction stages in the floor plan and elevation, based on the anomalies interpreted from the LE01 model and the historical information. The reference axes of the bridge located in each of the pillars or support structures are shown. a) Profile LE01 superimposed on the longitudinal section of the bridge. Resistive anomalies A1, A2 and A3 are identified. b) Plan view of the bridge with identification of the construction stages mentioned in historical records. c) Longitudinal section of the bridge with the construction stages defined from the resistive anomalies in figure 4a. d) Image of the southwest side of the bridge obtained from a photogrammetric model. Two of the construction stages are identified.

In addition, a correlation process was carried out between the anomalies identified in resistivity models and the data reported and summarized in Table 1 (Boils-Morales 2009; Soto-Zamora 2017).

## Results

At both ends of profile LE01 [Figure 5a], between 7 and 23 m and 98 to 108 m, resistivity values were below 150 Ohm-m are represented in blue and cyan colors. Two light green zones are defined in the portions between 23 and 36 m and 64 to 83 m, with resistivity values in the range of 150 to 400 Ohm-m. Between 36 to 64 and 83 to 98 m, two dark green zones are defined with resistivity values in the range of 400 to 750 Ohm-m. The model reveals significant variations in resistivity between the different zones, establishing clear boundaries.

The profiles LE02 through LE12 NE and the SW profiles show resistivity values of up to 2300 Ohm-m, with blue tones predominating with resistivities in the range of 1 to 150 Ohm-m and green color with values in the range of 150 to 900 Ohm-m [Figures 6 and 7].

In most of the models (LE03-LE09 and LE11), particularly in the measurements near the northeast parapet (NE), resistive anomalies appear in green in the first 50 cm of depth, with values up to 1000 Ohm-m [Figure 6]. In the case of the profiles to the Southwest (SW), the resistive anomaly in green color is intermittent along the profiles from 0 to 50 cm depth [Figure 7].

Below the first resistive layer there is a second layer that deepens up to 1.7 m in the central profiles (LE03-LE10) and up to 2m in the case of the end profiles (LE02, LE11 and LE12) on both sides of the bridge [Figures 6 and 7] with low resistivity values lower than 150 Ohm-m. For the profiles located on the arches, from 1.5 to 2 m deep, a resistive anomaly with values of 150 to 2000 Ohm-m is observed. The low resistivity values (lower than 25 Ohm-m) in the LE05, LE10 and LE11 models stand out, coinciding on both sides (NE and SW). Finally, red resistivity values greater than 1300 Ohm-m are defined in superficial areas in a punctual manner in the LE04 NE, LE05 NE, LE05 NW, LE11 NE and LE12 SW models [Figures 8 and 9].

## Discussion

As the anomalies fit the boundaries of the documented constructive stages, it is considered that although there is an effect of the space alongside and beneath the bridge on the resistivity values of the model shown in Figure 5a, in this case, it was not significant and it does not mask the anomalies related to the constructive stages. More research is needed to define and characterize the effects of the geometry in the measurements of resistivity in a building as the studied bridge.

Based on the aforementioned considerations, it can be inferred that the short ERT data, acquired with a 0.5 m spacing [Figure

6 and 7], may also be influenced by their close proximity to the void alongside the bridge. However, due to their short length, this influence is expected to exhibit uniformity or near-uniformity across the dataset. As a result, the anomalies are not distorted; they should have only increased by a constant value. Therefore, these anomalies reflect the structure of the fills and variations in moisture content.

Between axes C- F and H-J in figure 5a, the A3 resistive anomaly is identified with values between 400 and 750 Ohm-m in dark green color, which may correspond to the partial collapse of 1759 occurred mainly in this area and described in the narration of Boils-Morales (2009). These findings are supported by the field investigation conducted on the bridge, during which a change in the geometry of the arches and a slight rotation of the pillars located on the E and D axes were observed. Furthermore, physical modifications in the materials, such as changes in color and texture, were observed in areas without coating on the intrados of the arches.

On the other hand, the low resistivity anomalies A1 located at both edges of the bridge [Figure 5a] are spatially related to the construction stage 4 [Table 1] which corresponds to the modification of the approach slabs to align with the new layout of the "Antiguo Camino a San Ignacio" in the early 1980's. The fill material used in the construction of the approaches has a higher moisture content [Figure 5a], since it lacks lateral confinement that blocks the flow coming from the avenues that connect with the bridge and from its sides. Furthermore, it only has a wearing course, without the presence of the second layer of tiling with blocks of foundry slag found on the Bridge roadway, which could reduce water infiltration.

Anomaly 2 is therefore linked to the area that corresponds to the initial construction phase, identified as stage 1, which spans from 1743 to 1759 [Table 1].

To assess the effect of the space beneath and alongside the bridge, i.e., the bridge geometry, an inversion was performed solely on the data from the first and second survey levels, corresponding to data acquired with a dipole spacing of 5 m and 10 m. These data contain information only about the top 3.5 m depth, where the bridge fills and masonry are primarily located, resulting in anomalies mainly caused by the electrical properties of these bridge elements.

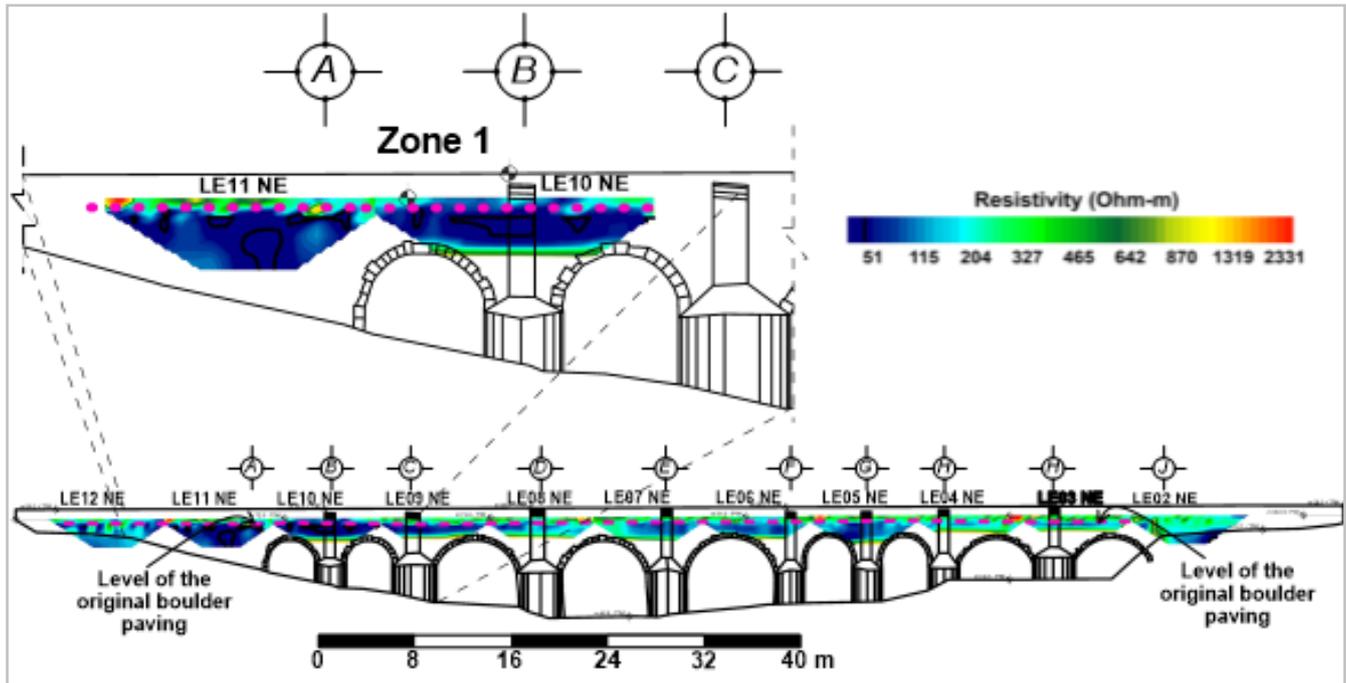
However, the roadway has a width of 5 m, and the thickness of the fills above the arches is 2 m on average. Therefore, the resulting model still includes an unquantified effect caused by the space alongside and beneath the bridge, which could not be eliminated. This is due to the requirement of having data from at least two survey levels for constructing a 2D resistivity model of the bridge roadway. Additionally, given the dipole size, the second survey level is located 1.5 m below the arches. By placing the LE02-LE12 NE and SW models [Figures 6 and 7] in a continuous arrangement in the elevation profile upstream of the bridge, is possible to associate some low resistivity

zones with humid fills, as is the case of zones 1, 2 and 3, which present values lower than 25 Ohm-m. Zone 1 and 2 [Figure 6 and 7] show values below 25 Ohm-m in blue in profiles LE10 and 11 on both sides, between 0.5 and 1.5 m deep. These areas with high moisture concentrations coincide with the cement-sand mortar fillings on the road surface, as well as with pothole areas with stagnant water.

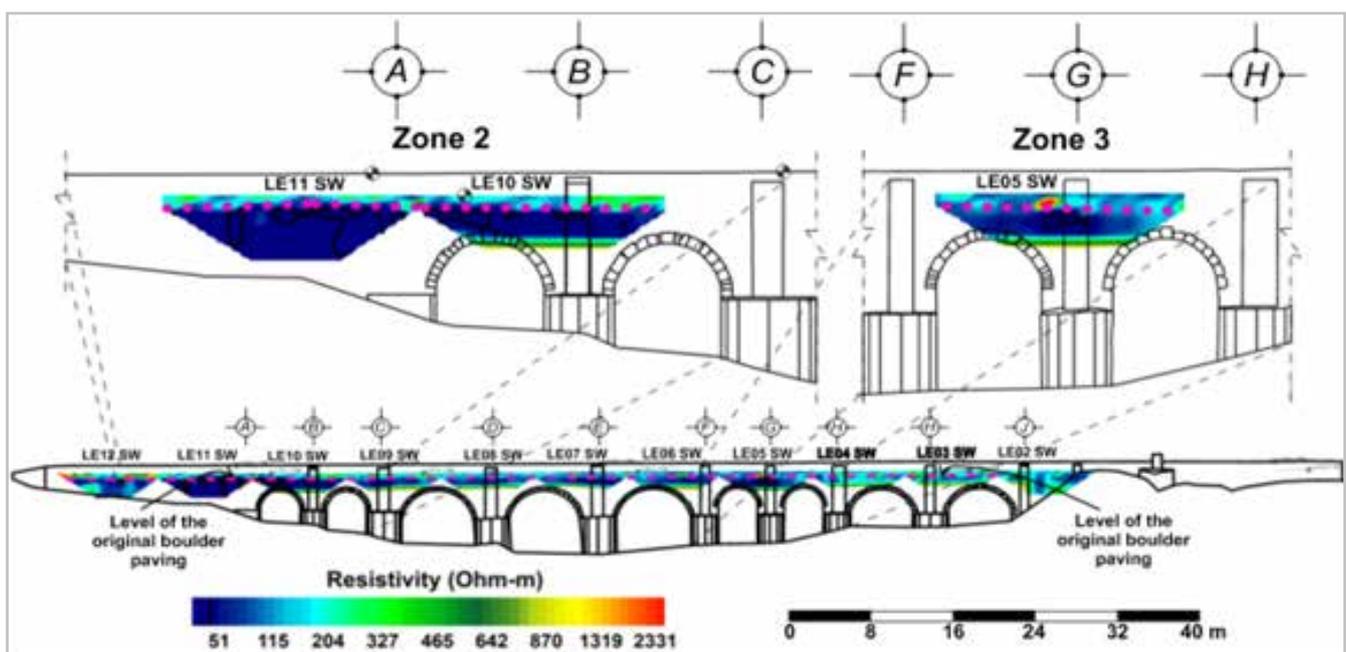
The presence of fillings with high moisture content, as observed in the highlighted areas [Figures 6 and 7],

likely contributes to the deterioration of the immediate arch intrados.

In addition to the aforementioned findings, the NE and SW continuous models [Figures 6 and 7] reveal the presence of a 0.5 m thick layer with resistivity values ranging from 150 to 2300 Ohm-m in the upper part. This layer spans the entire bridge profile and is marked with a dashed pink line. In most cases, areas exhibiting high resistivity values are located above low resistivity anomalies situated at greater depths. Consistently,



**Figure 6.-** LE02-LE12 NE models placed in continuous arrangement in the elevation profile. Areas of low resistivity are identified in blue and the surface layer with a dashed pink line.



**Figure 7.-** LE02-LE12 NE models placed in continuous arrangement in the elevation profile. Areas of low resistivity are identified in blue and the surface layer with a dashed pink line.

these superficial zones of high resistivity coincide with pothole that were repaired with concrete. These concrete volumes are associated with the high resistivity values observed.

This thin surface layer corresponds to the third stage of construction (Soto-Zamora 2017), wherein the original boulder paving was covered with a tiling layer composed of foundry slag blocks. It is worth noting that in profile LE02 on both sides, this surface layer is not clearly defined, which is consistent with its location in the approach slabs area.

Regarding the profiles depicted in Figures 6 and 7, no significant change along the C-E axes related to the collapse was detected. This can be attributed to the fact that only the fillings are measured, which consist of a material similar to that used in the initial stage, as indicated by the resistivity values displayed in profiles LE07, LE08, LE09 NE, and SW.

It stands out that in the NE profiles [Figure 6] the layer of the original boulder paving is better defined along the bridge, in contrast to the SW profiles [Figure 7] the resistive anomalies exhibit transitional changes from green to blue colors within the first 0.5 meters of depth. This suggests that the water filtered more towards the SW side so that the superficial stratum experienced a larger modification in its mechanical properties. The observed high moisture content can primarily be attributed to two factors: the slope inclination towards the southwest and the obstruction of lateral drains on the bridge, leading to water stagnation and seepage predominantly on the SW side.

Table 2 summarizes the main construction activities in each historic stages until 2020 and how they are evidenced in this work.

Stage	Description of the stage	Evidence
1	Initial Construction	ERT Model LE01, (Boils-Morales, 2009)
2	Reconstruction due to a partial collapse	ERT Model LE01, (Boils-Morales, 2009)
3	Covering original boulder paving with a layer of tiling with blocks of foundry slag	ERT Model LE02-LE12 SW and NE and picture of the beginning of XX century
4	Modification of approach slabs	Picture of the beginnings of the XX Century (Figure 1d)

**Table 2.-** Constructive stages and evidences

## Conclusions

In base to the obtained results, we can conclude the following:

- Through the application of ERT it was possible to reveal three constructive stages of the San Ignacio bridge: a) the initial construction, b) the partial collapse between the C-F and H-J axes and c) the original boulder paving. In both extremes of the bridge, we could identify anomaly A1 which was assumed

to be related with the modification of the approach slabs.

- The area reconstructed during stage 2 after the collapse due to the flooding of the river is verified. The study demonstrated the existence of the partial collapse of the building which coincides with the documentary sources and the previously identified physical changes (changes in the dimensions of the arches, in the color and texture of the materials and the rotation of the pilasters).

- Low-resistivity anomalies were identified in the fill area, and were related to the excess of moisture due to leaks from the road surface, which could represent a potential long-term risk if the areas of humidity increase, mainly in the area of the arches.

- The results show that these types of studies can provide evidences to verify or reconstruct the history of heritage buildings. Additionally, valuable information is obtained for decision-makers and the planning of interventions in historic structures. Understanding the deterioration condition of materials and structural pathologies is crucial to prevent further damage and ensure effective restoration instead.

## References

ANGELIS, D. et al. (2018). "Combined application of GPR and ERT for the assessment of a wall structure at the Heptapyrgion fortress (Thessaloniki, Greece)", *Journal of Applied Geophysics*, 152: 208–220. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.04.003>.

ARGOTE-ESPINO, D. et al. (2013). "3D electrical prospecting in the archaeological site of El Pahñú, Hidalgo State, Central Mexico", *Journal of Archaeological Science*, 40(2): 1213–1223. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.08.034>.

BOILS MORALES, G. (2009). Los puentes de la Independencia. *Boletín De Monumentos Históricos*, (16), 155–167. Recuperado a partir de <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/boletinmonumentos/article/view/2114>

CARDARELLI, E. et al. (2016). "Geophysical and geochemical techniques to assess the origin of rising damp of a Roman building (Ostia Antica archaeological site)", *Microchemical Journal*, 129: 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2016.06.006>.

CARDARELLI, E. AND DI FILIPPO, G. (2009). "Integrated geophysical methods for the characterisation of an archaeological site (Massenzio Basilica — Roman forum, Rome, Italy)", *Journal of Applied Geophysics*, 68(4): 508–521. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2009.02.009>.

COMPARE, V. et al. (2009). "Resistivity probability tomography imaging at the castle of Zena, Italy", *Eurasip Journal on Image and Video Processing*, 2009(1): 693274. <https://doi.org/10.1155/2009/693274>.

COZZOLINO, M. et al. (2020). "Non-Destructive Techniques for Building Evaluation in Urban Areas: The Case Study of the Redesigning Project of Eleftheria Square (Nicosia, Cyprus)", *Applied Sciences*, 10(12): 4296. <https://doi.org/10.3390/app10124296>.

- DEIANA, R. AND PREVIATO, C. (2023). "Geophysical Surveys for Archaeological Research in Urban Areas: The Case of the Roman Theatre in Padua", *Heritage*, 6(2): 946–956. <https://doi.org/10.3390/heritage6020052>.
- DI MAIO, R. *et al.* (2012). "New Insights for Conservation of Villa Imperiale (Pompeii, Italy) Through Nondestructive Exploration", *International Journal of Architectural Heritage*, 6(5): 562–578. <https://doi.org/10.1080/15583058.2011.593392>.
- ERCOLI, M. *et al.* (2016). "Inside the polygonal walls of Amelia (Central Italy): A multidisciplinary data integration, encompassing geodetic monitoring and geophysical prospections", *Journal of Applied Geophysics*, 127: 31–44. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2016.02.003>.
- EVANGELISTA, L. *et al.* (2017). "Application of ERT and GPR geophysical testing to the subsoil characterization of cultural heritage sites in Napoli (Italy)", *Measurement*, 104: 326–335. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.07.042>.
- FAUCHARD, C. *et al.* (2013). "Assessment of an ancient bridge combining geophysical and advanced photogrammetric methods: Application to the Pont De Coq, France", *Journal of Applied Geophysics*, 98: 100–112. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2013.08.009>.
- GHILARDI, M., SANDERSON, D.C.W., *et al.* (2015). "Dating the bridge at Avignon (south France) and reconstructing the Rhone River fluvial palaeo-landscape in Provence from medieval to modern times", *Journal of Archaeological Science: Reports*, 4: 336–354. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2015.10.002>.
- HAUQUIN, T. AND MOUREY, Q. (2019). "The detection of old masonry tunnels as low electrical resistivity anomalies-application to one covered stream tunnel of the Cevennes Mountain region (France)", *Journal of Applied Geophysics*, 168: 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2019.05.010>.
- HEGYI, A. *et al.* (2019). "Mapping the subsurface structures of a lost medieval village in South-Western Romania by combining conventional geophysical methods", *Archaeological Prospection*, 26(1): 21–32. <https://doi.org/10.1002/arp.1720>.
- LÓPEZ-GONZÁLEZ, L. *et al.* (2022). Coupling electrical resistivity methods and GIS to evaluate the effect of historic building features on wetting dynamics during wind-driven rain spells. *Journal of Cultural Heritage*, 58, 209–218. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.10.009>
- MARTÍNEZ-GARRIDO, M.I. *et al.* (2018). "A comprehensive study for moisture control in cultural heritage using non-destructive techniques", *Journal of Applied Geophysics*, 155: 36–52. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.03.008>.
- ORTEGA-RAMÍREZ, J. *et al.* (2020). "Application of non-invasive geophysical methods (GPR and ERT) to locate the ancient foundations of the first cathedral of Puebla, Mexico. A case study", *Journal of Applied Geophysics*, 174: 103958. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.103958>.
- QUESNEL, Y. *et al.* (2011). "Geophysical Signatures of a Roman and Early Medieval Necropolis", *Archaeological Prospection*, 18(2): 105–115. <https://doi.org/10.1002/arp.411>.
- SASS, O. AND VILES, H.A. (2006). "How wet are these walls? Testing a novel technique for measuring moisture in ruined walls", *Journal of Cultural Heritage*, 7(4): 257–263. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2006.08.001>.
- SOTO-ZAMORA, M.Á. (2017) "El puente «San Ignacio»: testigo vivo del auge y caída de la Compañía de Jesús en la Nueva España", *Actas del Décimo Congreso Nacional y Segundo Congreso Internacional de Historia de la Construcción : Donostia-San Sebastián, 3 a 7 de octubre 2017, III*, pp. 1593–1602.
- TEJERO-ANDRADE, A. *et al.* (2018). "Illuminating" the interior of Kukulkan's Pyramid, Chichén Itzá, Mexico, by means of a non-conventional ERT geophysical survey", *Journal of Archaeological Science*, 90: 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.12.006>.
- TSOKAS, G.N. *et al.* (2007). "Geophysical exploration in the Church of Protaton at Karyes of Mount Athos (Holy Mountain) in northern Greece", *Archaeological Prospection*, 14(2): 75–86. <https://doi.org/10.1002/arp.305>.
- TSOKAS, G.N. *et al.* (2008). "Non-destructive electrical resistivity tomography for indoor investigation: the case of Kapnikarea Church in Athens", *Archaeological Prospection*, 15(1): 47–61. <https://doi.org/10.1002/arp.321>.
- TSOURLOS, P. I. AND TSOKAS, G.N. (2011a). 'Non-destructive Electrical Resistivity Tomography Survey at the South Walls of the Acropolis of Athens', *Archaeological Prospection*, 18(3): 173–186. <https://doi.org/10.1002/arp.416>.
- WORLD HERITAGE COMMITTEE (2010). Report of the Decisions Adopted By the world heritage committee At its 34th session of the World Heritage Committee, Brasilia, Brazil, 2010.

#### Autor/es



#### Raudel Padilla-Ceniceros

[raudelpc@gmail.com](mailto:raudelpc@gmail.com)

Panamerican University Campus Bonaterra.  
School of Architecture. México

<https://orcid.org/0000-0002-6278-7596>

Civil Engineer from the Autonomous University of Zacatecas, MSc in Civil Engineering and PhD from the Autonomous University of Aguascalientes. Professor of School of Engineering at the Panamerican University Campus Aguascalientes. He develops research in the area of built heritage, particularly in the evaluation of historical buildings using non-destructive methods. In addition, he collaborates in research on the issues of subsidence and danger in the central region of the country. Candidate of the National System of Researchers of Conahcyt from 2018 to 2023. Member of the College of civil engineers of the state of Aguascalientes.



**Jesús Pacheco-Martínez**  
[jesus.pacheco@edu.uaa.mx](mailto:jesus.pacheco@edu.uaa.mx)  
Center for Design and Construction Sciences,  
Autonomous University of Aguascalientes,  
Mexico  
<https://orcid.org/0000-0002-0451-4143>

Civil engineer and master's degree in structural engineering from the Autonomous University of Queretaro. PhD in geophysical exploration from the National Autonomous University of Mexico. He is a professor-researcher in the civil engineering department of the Autonomous University of Aguascalientes, Mexico. Within his lines of research, he develops studies of heritage buildings with non-destructive methods, particularly in the characterization of materials and construction methods of historic buildings with seismic and electrical methods. Member of the College of Earth Sciences of the State of Aguascalientes and the Mexican Association of Hydrogeological Risks.



**Miguel Ángel Soto-Zamora**  
[miguel.soto@edu.uaa.mx](mailto:miguel.soto@edu.uaa.mx)  
Center for Design and Construction Sciences,  
Autonomous University of Aguascalientes,  
Mexico

Civil Engineer, MsC in Civil Engineering and PhD from the Autonomous University of Aguascalientes. Full time Professor of the Department of Civil Engineering at the Autonomous University of Aguascalientes. Technical secretary of the Master degree in Civil Engineering 2017 to 2019. Member of the College of civil engineers of the state of Aguascalientes.



**Norma González-Cervantes**  
[norma.gonzalez@edu.uaa.mx](mailto:norma.gonzalez@edu.uaa.mx)  
Center for Design and Construction Sciences,  
Autonomous University of Aguascalientes,  
Mexico

Geosciences Engineer from the Ciudad Madero Technological Institute, MsC and PhD in Earth Sciences from the Earth Geoscience Institute, National Autonomous University of Mexico. She currently works as a professor-researcher and as a Research Technician in the Department of Civil Engineering of the Autonomous University of Aguascalientes. She collaborates to study in the generation and development of faults and fractures related to land subsidence, as well as in the analysis of hazard and geological risk, likewise, she has worked on interdisciplinary projects to analyze and categorize damages of the rocks that make up the buildings and the study of the physical properties of soils and rocks. Member of the College of Earth Sciences of the State of Aguascalientes, the Mexican Association of Hydrogeological Risks and the Mexican Geophysical Union.



**Hugo Luna-Villavicencio**  
[hlunav@up.edu.mx](mailto:hlunav@up.edu.mx)  
Panamerican University Campus Bonaterra,  
School of Architecture. México  
<https://orcid.org/0000-0002-6159-053X>

Civil Engineer from the Autonomous University of Zacatecas, MsC in Civil Engineering and PhD from the Autonomous University of Aguascalientes. He has been a research professor since 2023 at the Panamerican University Campus Aguascalientes, and the Autonomous University of Aguascalientes. His research focuses on the use of geophysical exploration techniques and remote sensing for risk mitigation. Member of the College of Earth Sciences of the State of Aguascalientes and the Mexican Association of Hydrogeological Risks.



**Michelle Ivonne López-Escobar**  
[ivonneloes1309@hotmail.com](mailto:ivonneloes1309@hotmail.com)  
Graduate Program in Civil Engineering,  
Autonomous University of Aguascalientes,  
Mexico

Architect from Zacatecas Technological Institute and MsC in Civil Engineering from Autonomous University of Aguascalientes. Currently, she is student of PhD at the Autonomous University of Aguascalientes, her research is carried out in the area of built heritage, specifically in the study of the phenomenon of moisture and its impact on the deterioration of historical buildings.



**Isaí Gerardo Reyes-Cedeño**  
[igreyes@up.edu.mx](mailto:igreyes@up.edu.mx)  
Panamerican University Campus Bonaterra,  
School of Engineering. Mexico  
<https://orcid.org/0009-0002-4681-1311>

Civil Engineer, MsC in Civil Engineering and PhD from the Autonomous University of Aguascalientes. Since 2019 he has worked as a part-time lecturer, and since 2022 he has been a research professor and head of the Civil Engineering Department at the Panamerican University Campus Aguascalientes. His research focuses on the study of water management, specifically on the modeling of surface and underground water. Member of the College of Civil Engineers of Aguascalientes, the Mexican Association of Hydraulics, the Mexican Network of Hydraulic Engineering Professors, and the Mexican Association of Hydrogeological Risks.

Artículo enviado 07/11/2023  
Artículo aceptado el 15/04/2024



<https://doi.org/10.37558/gec.v25i1.1276>

# Caracterización del embaldosado de escoria de fundición para la intervención de un puente del siglo XVIII de la Nueva España

Miguel Angel Soto-Zamora, Rubén Alfonso López-Doncel, Isaías Edén Vizcaíno-Hernández, Andrea Maldonado-Arévalo

**Resumen:** La intervención realizada a principios del siglo XX en el puente "San Ignacio", modificó significativamente su funcionamiento, debido a la construcción de un embaldosado fabricado a partir del moldeo en baldosas prismáticas, del material incandescente de desecho de los procesos de la Gran Fundición Central. Mexicana de Salomón Guggenheim, las cuales fueron utilizadas para recuperar la calzada. Sin embargo, este sistema constructivo ha fallado debido al tráfico, por lo que el objetivo principal de este estudio se centró en la caracterización del sistema constructivo con base en la normatividad aplicable, evaluando su geometría, propiedades mecánicas y realizando una prospección eléctrica de los estratos. del sistema con la finalidad de evaluar la viabilidad de la conservación del embaldosado. Los resultados obtenidos llevaron a proponer su retiro debido al comportamiento frágil del material, su gran contribución al peso muerto y los problemas de drenaje de la calzada ocasionados por el sistema.

**Palabras clave:** puente, escoria de fundición, embaldosado, intervención

## Characterization of the foundry slag tiling for the intervention of an 18th century bridge in New Spain

**Abstract:** The intervention carried out at the beginning of the 20th century in the "San Ignacio" bridge, significantly modified its operation, due to the construction of a tiling made from the molding in prismatic tiles, of the incandescent waste material from the processes of the Great Mexican Central Foundry of Salomon Guggenheim, which were used to cover the roadway. However, this construction system has failed due to traffic, so the main objective of this study focused on the characterization of the construction system based on the applicable regulations, evaluating its geometry, mechanical properties and performing an electrical survey of the system strata to assess the feasibility of preserving the tiling. The results obtained led to propose its removal due to the fragile behavior of the material, its great contribution to the dead weight and the drainage problems of the roadway caused by the system.

**Keywords:** bridge, slag, tiling, intervention

## Caracterização do pavimento de escória de fundição para a intervenção numa ponte do século XVIII na Nova Espanha

**Resumo:** A intervenção realizada no início do século XX na ponte "San Ignacio" modificou significativamente o seu funcionamento, devido à construção de um pavimento fabricado a partir de moldes de ladrilhos prismáticos, do material incandescente de desperdício dos processos da Grande Fundição Central Mexicana de Salomón Guggenheim, que serviram para cobrir a estrada. No entanto, este sistema construtivo falhou devido ao tráfego, pelo que o objetivo principal deste estudo se centrou na caracterização do sistema construtivo com base na regulamentação aplicável, avaliando a sua geometria, propriedades mecânicas e realizando uma prospeção elétrica das camadas do sistema a fim de avaliar a viabilidade da conservação do revestimento. Os resultados obtidos levaram a propor a sua remoção devido ao comportamento frágil do material, à sua elevada contribuição para o peso morto e aos problemas de drenagem da estrada causados pelo sistema.

**Palavras-chave:** ponte, escória de fundição, pavimento, intervenção

## Introducción

### —Contexto histórico del puente “San Ignacio” 1767-1895

El puente “San Ignacio” inició su construcción a mediados del siglo XVIII sobre el río “San Pedro”, ubicado al poniente de la Villa de Nuestra Señora de la Asunción de las Aguas Calientes (la actual ciudad de Aguascalientes, México). De acuerdo con Gutiérrez, “con frecuencia, en tiempo de aguas, quedaba la villa incomunicada porque las crecientes del río San Pedro impedían su tránsito, como en el año 1753 en que las aguas no dieron vado en 43 días.” (Gutiérrez 1999:222). Existen en el puente evidencias físicas de la fecha en que las bóvedas originales fueron cerradas, en el grabado más conservado en A9 [Figura 1b] es posible leer “Se serro esta Bobbeda el dia 6 de Julio de 1747 a Juebes [sic]”, en la segunda en A8 [Figura 1c] solo es posible observar “se cerro esta bobeda el dia 12 de ... [sic]” de lo anterior se infiere que el inicio la construcción se dio antes de 1747, sin embargo no existe una fecha específica.

El puente fue inaugurado en 1758 de acuerdo con Gutiérrez, “faltaban a esta obra, pasamanos y empedrado, que no se han hecho por falta de dinero” (Gutiérrez 1999:223). Según Boils “Prácticamente estaba listo en 1759, y sólo restaba levantar los pretilos y el empedrado de la vía, cuando el 29 de septiembre de ese año lo derribó una creciente del río San Pedro, sobre el que se levanta la estructura. Se comenzó a reconstruir al año siguiente...”. Tras este colapso el puente tardó un tiempo considerable

en ser reconstruido, Boils afirma que su reconstrucción llegó hasta 1780 (Boils 2009:157). Existen evidencias físicas de un colapso parcial de las bóvedas A5, A6 y A7 del puente debido a una rotación en las pilas intermedias [Figura 1a].

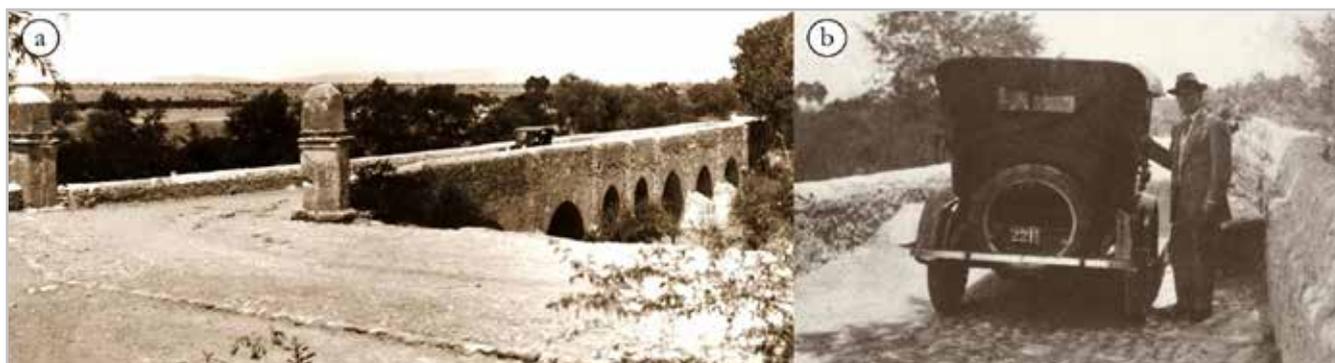
Durante el siglo XIX, no existen menciones del puente, solo se sabe que debió seguir funcionando de manera adecuada, siendo durante este periodo que se construyó el empedrado original de piedra bola de río asentada con mortero de cal-arena. No es hasta inicios del siglo XX que se toman las primeras fotografías del puente en donde es posible apreciar su existencia sobre la calzada [Figura 2].

### — La Gran Fundición Central Mexicana en Aguascalientes 1895-1925

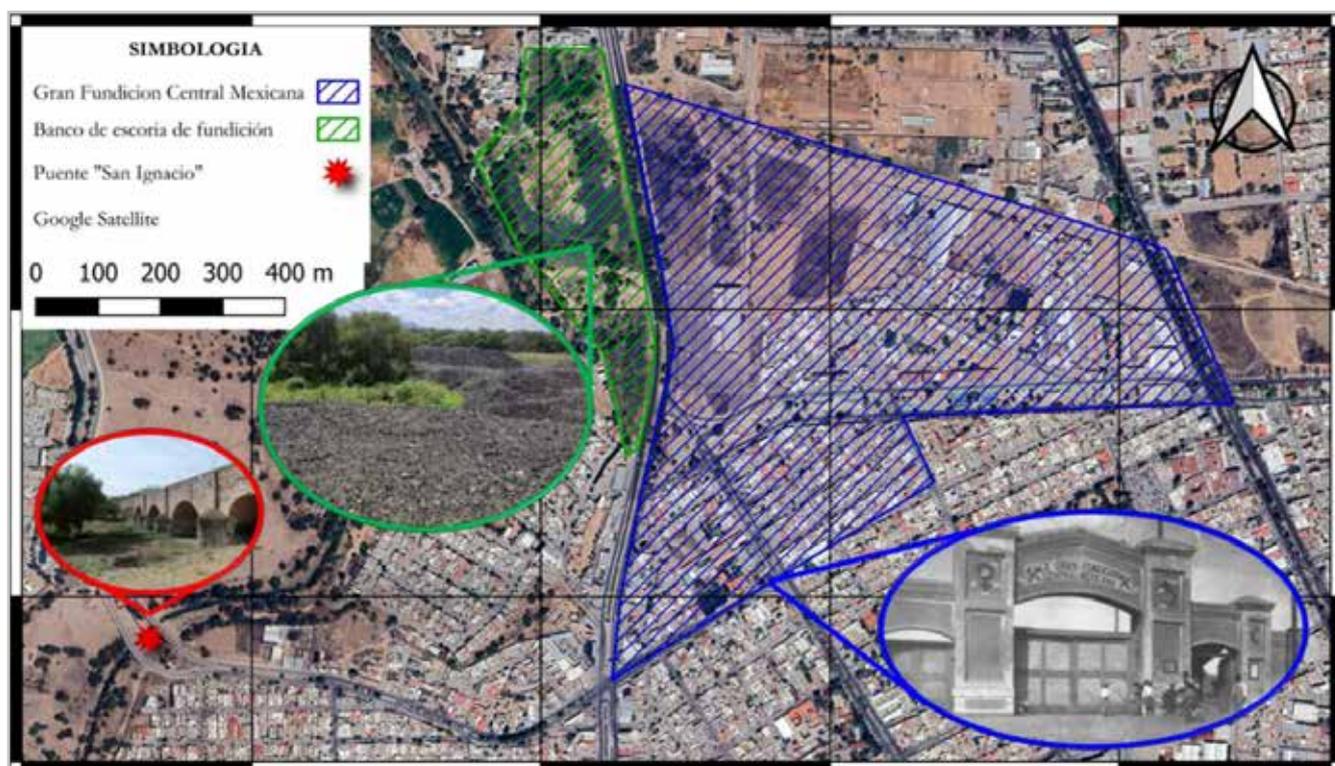
Los Guggenheim firmaron en 1892 un contrato para la construcción en Aguascalientes de una fundidora, para ello se dispuso de 350 hectáreas del rancho “El Sillero”, una altiplanicie a medio kilómetro del puente “San Ignacio” [Figura 3], el terreno colindaba con el río “San Pedro” y estaba limitado por un barranco profundo, el cual se empleó como depósito de la escoria producto de la fundición y fue conocido como el “Cerro de la Grasa” (Gómez 1988:102-105). Para 1895 ya se encontraban trabajando dos hornos en lo que pasó a denominarse la Gran Fundición Central Mexicana (ASARCO, American Smelting and Refining Company), la cual producía grandes cantidades de plomo y cobre que tenía una producción marginal de oro y plata. Tras varias huelgas de trabajadores



Figura 1.- a) Perfil del puente “San Ignacio” b) y c) grabados en estuco de cal (A8, A9), indicando la fecha de cierre de las bóvedas de los arcos del puente. Elaboración propia.



**Figura 2.-** a) y b) Fotografías de inicios del siglo XX del puente “San Ignacio” donde es posible apreciar el empedrado original (Fondo Archivo General Municipal).



**Figura 3.-** Zonificación de la planta de la ASARCO en Aguascalientes (1894-1925), es posible observar la cercanía del puente “San Ignacio” con las instalaciones de la antigua fundidora. Elaboración propia.

y con la problemática económica que trajo la Revolución mexicana (1910-1921), los Guggenheim anuncian en 1925 el traslado de la fundidora al estado de San Luis Potosí (Gómez 1988:118).

— *El uso de la escoria como material de restauración en el puente “San Ignacio”*

Durante el periodo de funcionamiento de la ASARCO se da la primera intervención moderna en el puente de “San Ignacio”, construyendo un nuevo empedrado en la calzada y reparando secciones de los parapetos [Figura 4a], para esta intervención se empleó un material poco común y del cual se tienen pocos registros de su fabricación y utilización como material de construcción: baldosas de escoria de fundición [Figura 4a]. No existen

registros documentales del proceso exacto de fabricación de las baldosas, sin embargo, por sus características, es posible inferir que durante los procesos de fundición de la ASARCO, se utilizaron moldes metálicos capaces de soportar la temperatura del material incandescente, en los cuales se vertió la escoria fundida, con la finalidad de moldear piezas prismáticas rectangulares [Figura 4d], las cuales fueron posteriormente desmoldadas y empleadas en diferentes aplicaciones dentro de las instalaciones de la fundidora, principalmente como sillares para la construcción de algunos edificios [Figura 4c] y como baldosas en los patios de maniobras y almacenes de las instalaciones de la fundidora [Figura 4b].

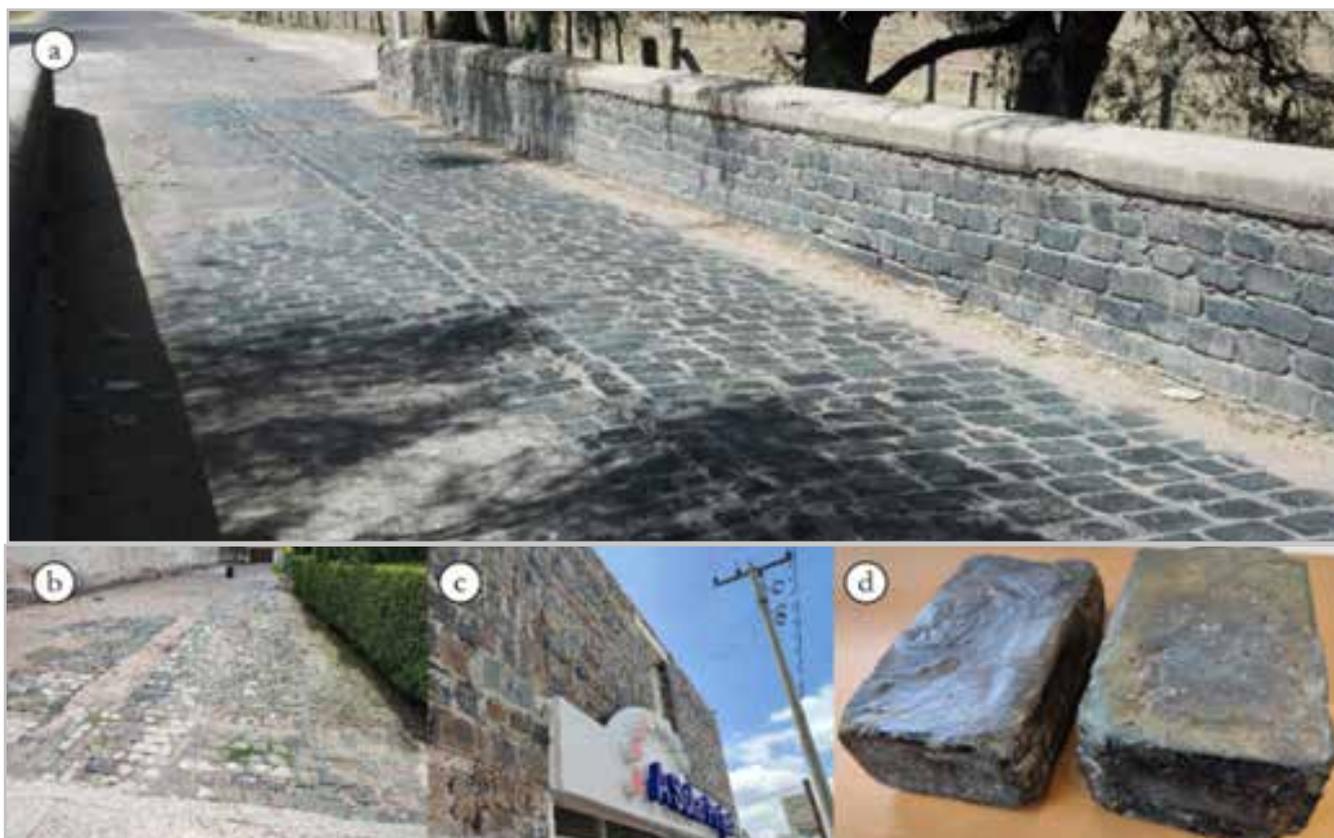
Las baldosas no siempre se fabricaron con dimensiones estandarizadas, en el puente se emplearon dimensiones de aproximadamente 26cm de largo, 16cm de ancho

y un espesor variable de 10 a 13cm [Figura 5a, 5b y 5c], con pesos cercanos a los 15 kg por pieza, la diferencia en el espesor de las piezas [Figura 5a y 5b] se debe probablemente a la dificultad para verter una cantidad exacta de material fundido en cada molde. Su fabricación no debió ser sencilla, ya que fundir la roca para extraer el cobre, requiere temperaturas superiores a los 1250°C (Norgate 2013:218), por lo que trabajar con el material a alta temperatura y verterlo en moldes pequeños rápidamente antes de que se enfriara, representaba un desafío significativo. Si bien el uso de escorias de fundición ha sido común en la dosificación de mezclas de concreto y asfaltos debido al incremento significativo que estas producen en la durabilidad y propiedades mecánicas de las mezclas (Meshram 2023:5826-5827), su aplicación se ha realizado triturada o pulverizada, por lo que la utilización de baldosas de escoria de fundición moldeadas a partir de material incandescente, en un proceso de intervención de principios del siglo XX, tiene una relevancia significativa en términos de la complejidad de su fabricación, la cual se comprueba observando la enorme cantidad de escoria que no fue aprovechada para la producción de baldosas y que se acumuló en el depósito aledaño a la planta el cual aún existe [Figura 3].

El uso de este material para mejorar las condiciones de la calzada probablemente estuvo relacionado con su

disponibilidad en las cercanías del puente, lo que pudo significar un bajo costo del material y su traslado a obra, puesto que resulta difícil explicar el empleo de un material tan complejo de fabricar, con un peso tan elevado y un comportamiento quebradizo, lo cual quedó manifiesto en las pruebas experimentales llevadas a cabo en este estudio. Así mismo el acabado liso [Figura 4d y 5c] obtenido del proceso de fabricación de las baldosas proporcionó una superficie de rodamiento menos accidentada que el empedrado existente [Figura 2].

El paso del tiempo ha evidenciado una incompatibilidad significativa del sistema constructivo empleado con los materiales originales del puente, ocasionando una alteración significativa (Silva 2021:1). En 2016 inician los esfuerzos para intervenir el puente debido a las patologías que presentaba, la principal consistía en la pérdida de las juntas constructivas en el intradós de las bóvedas [Figura 6c]. El fenómeno de la pérdida de las juntas puede ser atribuido a la migración de humedad desde la calzada del puente hacia los rellenos granulares, generando la cristalización de sales y dañando los materiales porosos (Sheng 2024:3), resultaba evidente que el pavimento de la calzada, se encontraba fracturado [Figura 6b], ocasionando la pérdida de baldosas y provocando el estancamiento del agua en algunas zonas [Figura 6a], lo cual en conjunto con el pobre drenaje de la calzada



**Figura 4.-** a) Embaldosado y sustitución del parapeto con baldosas de escoria de fundición. b) Embaldosado en patio de maniobras de la ASARCO. c) Edificio administrativo de la ASARCO, construido con el material. d) Baldosas de escoria rescatadas de la ASARCO. Elaboración propia.



**Figura 5.-** a) Vista lateral de las baldosas. b) Vista frontal de las baldosas. c) Vista superior de las baldosas, correspondiente con la posición utilizada en el embaldosado del puente San Ignacio. Elaboración propia.

ocasionaba la migración de humedad hacia el interior del puente.

A partir de lo anterior se planteó la hipótesis de que la preservación del embaldosado supondría un riesgo significativo para la conservación general del estado de servicio del puente, sin embargo, su particularidad y valor histórico generaban dudas respecto a su retiro, por lo que previo al inicio cualquier proceso de intervención resultaba indispensable evaluar los riesgos asociados a su presencia.

El objetivo principal del estudio consistió en la caracterización del sistema constructivo del embaldosado construido a principios del siglo XX, determinando su geometría, composición constructiva y el grado de compatibilidad con los materiales y sistemas constructivos originales, así como el efecto de su presencia en el correcto

funcionamiento estructural y de drenaje del puente, con la finalidad de recomendar su conservación o retiro durante los procesos de restauración del puente de “San Ignacio” llevados a cabo durante el año 2021.

## Materiales y métodos

### — Levantamiento topográfico

Se realizó un levantamiento topográfico de la calzada del puente, empleando una estación total Sokkia® SET 630RK, realizando un seccionamiento con la finalidad de obtener la configuración geométrica de la calzada para verificar las condiciones de drenaje y las zonas dañadas del pavimento. Además, se realizó un modelo fotogramétrico empleando fotografías digitales capturadas con un dron DJI® Mini 3. El modelo fue procesado utilizando Agisoft Metashape® a partir de lo cual se construyó un modelo tridimensional del puente y ortofotografías [Figura 10].

### — Tomografía eléctrica y determinación de la resistividad del material

Se realizaron sondeos con tomografía de Resistividad Eléctrica de forma transversal a la calzada del puente, mediante la implementación de un resistímetro marca Syscal® R1 Plus de 24 electrodos, fijando los electrodos a la calzada mediante el uso de arcilla para garantizar la correcta transmisión eléctrica al material de la calzada. A partir de la información obtenida se realizaron mapas de contornos identificando zonas con diferentes rangos de resistividad eléctrica (Maldonado 2021:69).



**Figura 6.-** a) y b) Daños y pérdidas de piezas en el embaldosado de escoria del puente “San Ignacio”. c) y d) Pérdida de juntas y daño en dovelas en el intradós de las bóvedas. Elaboración propia.

Utilizando el resistímetro Syscal® R1 Plus, se midió la resistividad de uno de los especímenes de escoria, de conformidad con la norma NMX-C-514-ONNCCE-2019. La medición se realizó en dos estados, saturado tras 24 horas de inmersión en agua bidestilada y secado al horno a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas, a partir de lo cual se inyectó electricidad en ambos estados para obtener un rango de valores para el material (Maldonado 2021:69).

A partir de la resistencia obtenida se calculó la resistividad mediante la fórmula (Feijoo 2020:63):

$$\rho = R \cdot A / L \quad (1)$$

Dónde:

- $\rho$  = resistividad en ohm-metro ( $\Omega\text{m}$ )
- $R$  = resistencia que presenta la roca en ohmios ( $\Omega$ )
- $A$  = sección de la probeta en metros cuadrados ( $\text{m}^2$ )
- $L$  = longitud de la probeta en metros (m)

— *Caracterización de las baldosas de escoria de fundición*

Se obtuvieron muestras en los alrededores del puente, donde fue posible localizar dos baldosas incompletas, las cuales fueron retiradas de la calzada durante alguno de los procesos de intervención o reparación a lo largo de los años. Así mismo se visitó el banco de escoria de fundición [Figura 3], donde se obtuvieron muestras de las rocas existentes en el banco, que si bien fueron producidas a partir del mismo material que las baldosas, tuvieron un proceso de enfriamiento y formación distinto, por lo que se requerirían pruebas de laboratorio de ambos grupos de muestras que permitieran la determinación de sus características físico-mecánicas.

— *Determinación de la densidad, porcentaje de absorción y porosidad (ASTM C127)*

Se realizó la determinación de las características del material a partir de seis fragmentos de escoria rescatados de la zona del puente de “San Ignacio” (SI) y nueve piezas obtenidas del banco “Cerro de la Grasa” (CG), Estas pruebas se realizaron de conformidad con la normativa ASTM C 127-04 Método de prueba estándar para la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados gruesos.

Este método consiste en determinar el volumen y el peso de los especímenes. Se pesaron las piezas para obtener su peso inicial en estado natural  $P_i$ , se utilizó una balanza electrónica con precisión de un gramo, las piezas fueron secadas en el horno a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas; las probetas se dejaron enfriar y fueron pesadas nuevamente para obtener su peso final  $P_f$ , a partir de lo cual se determinó su porcentaje de humedad actual mediante la expresión (Navarrete 2013:137):

$$\% \text{ Humedad Actual} = (P_i - P_f) / P_f * 100 \quad (2)$$

Dónde:

- $P_i$  = Peso inicial de la muestra, en gr.
- $P_f$  = Peso final de la muestra, en gr.

Una vez determinado el peso seco  $P_s$  de las muestras, estas se saturaron con agua bidestilada por 24 horas, las muestras fueron retiradas del agua y secadas superficialmente mediante la implementación de un paño absorbente, y fueron pesadas para determinar su peso húmedo superficialmente seco  $P_h$ , determinando su porcentaje de absorción mediante la ecuación (Navarrete 2013:138):

$$\% \text{ Humedad de absorción} = (P_h - P_s) / P_s * 100 \quad (3)$$

Dónde:

- $P_h$  = Peso saturado superficialmente seco, en gr.
- $P_s$  = Peso seco al salir del horno, en gr.

A partir de lo anterior, se determinó la densidad de las probetas mediante el cálculo de su volumen empleando un picnómetro. Las rocas saturadas fueron sumergidas en el agua dentro del picnómetro, y a continuación se determinó el volumen de agua desplazado por cada una de las muestras ( $V$ ), midiendo dicho volumen con una probeta graduada y calculando la densidad del material mediante la expresión (Navarrete 2013:138) (ASTM C127 2001:3):

$$\rho = W / V = (P_h - (P_h - P_s)) / V \quad (4)$$

Dónde:

- $\rho$  = Densidad, en  $\text{gr}/\text{cm}^3$ .
- $W$  = Peso de la muestra seca, g.
- $P_h$  = Peso húmedo superficialmente seco, en gr.
- $P_s$  = Peso seco al salir del horno, en gr.
- $V$  = Volumen de la probeta, en  $\text{cm}^3$ .

Finalmente se calculó la porosidad efectiva con el método de inmersión (Benavente 2004:64) calculando el volumen de los poros del material en función a la diferencia de masas registrada entre la probeta saturada y superficialmente seca  $P_h$  y la probeta secada al horno  $P_s$ , dicha diferencia se divide entre la densidad del agua a la temperatura ambiental para este caso se consideró la densidad del agua  $\rho_{H_2O}$  de  $1.0\text{ gr}/\text{cm}^3$ , el cálculo se realizó de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P_{AI} = ((P_h - P_s) / \rho_{H_2O}) / V * 100 \quad (5)$$

Dónde:

- $\rho_{H_2O}$  = Densidad del agua, en  $\text{gr}/\text{cm}^3$ .
- $P_h$  = Peso húmedo superficialmente seco, en gr.
- $P_s$  = Peso seco al salir del horno, en gr.
- $V$  = Volumen de la probeta, en  $\text{cm}^3$ .

— *Determinación de la resistencia a la compresión (ASTM C170)*

En el método ASTM C170 se permiten probetas cúbicas con una relación altura-diámetro comprendida entre 0.9:1.0

y 1.1:1.0 (ASTM C170, 2009:1). Las superficies portantes deben tener un diámetro superior a 2 pulgadas y estar rectificadas para entrar en contacto adecuadamente con los platos de la máquina de ensaye. Se fabricaron probetas cúbicas de 5.00cm por lado, tanto de los fragmentos de baldosas rescatados del puente como de las rocas del banco. Las probetas fueron cortadas con una cortadora de disco diamantado enfriado por agua, mediante este procedimiento se obtuvieron un total de nueve probetas cúbicas viables, cuatro a partir de las muestras obtenidas del puente y cinco del material del banco del “Cerro de la Grasa”, perdiendo varias debido a las fracturas internas del material. Las probetas viables fueron medidas, pesadas y rotuladas para posteriores ensayos.

Se entiende por compresión simple o uniaxial (RCS) el esfuerzo máximo que puede soportar la roca antes de la fractura (Feijoo 2020:62). Para esta prueba la matriz rocosa se ensaya sin confinamiento lateral. El ensayo a compresión simple se realizó en una prensa automática digital CONTROLS® Pilot 4, con capacidad de 500 kN, la cual aplica presión por medio de un actuador hidráulico durante la duración de la prueba y hasta la falla. La prueba se realizó de conformidad con el método ASTM C170 Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de la piedra de dimensiones normalizadas (ASTM C170 2009:1-3). Dicha prueba consiste en someter una probeta a una carga de compresión uniaxial hasta que se produce el fallo, y la resistencia a la compresión se calcula en función de la carga en el momento del fallo y del área de la sección transversal de la probeta mediante la ecuación (ASTM C170 2009:2):

$$\sigma_c = p/A \quad (6)$$

Dónde:

$\sigma_c$ = resistencia a compresión simple, en MPa.

$p$ =carga máxima en la probeta antes de la falla, en N.

$A$ = Área de las caras de contacto de la probeta, en mm<sup>2</sup>.

## Resultados y discusión

A partir del levantamiento topográfico fue posible observar que el pavimento de la calzada del puente formada por baldosas de escoria de fundición tiene una pendiente transversal a dos aguas, ya que se colocó un bloque de canto al centro de la calzada como puede observarse en la imagen [Figura 4a y 7d], el cual es el punto más alto y de ahí nace la pendiente transversal hacia aguas abajo y aguas arriba, la cual es variable entre el 2% y el 3%. Sin embargo, no existen drenajes adecuados hacia ninguno de los dos lados, a pesar de que en el lado aguas abajo es posible observar restos de las canaletas y sus orificios de desagüe, pero estas se encontraban ocluidas, rotas y sin funcionamiento aparente. En algunos sitios del puente se practicaron orificios en el parapeto para ayudar en el desagüe de la calzada, sin embargo, existen evidencias físicas de que el agua escurre sobre los

muros, contrafuertes y pilastras del puente generando daños.

Lo anterior, en conjunto con la clara diferencia de alturas entre el parapeto actual [Figura 3] y el parapeto de principios del siglo XX [Figura 2b], configuró dos opciones posibles. La primera consistía en que se hubiese rellenado la calzada para empatar con los niveles del camino a principio del siglo XX, o bien que el empedrado se construyó sin retirar el empedrado original, lo que redujo la altura de los parapetos y ocasionó que los drenajes originales quedaran por debajo del nivel de rasante de la calzada, lo que llevó a plantear la realización de estudios prospectivos de tomografía eléctrica a fin de verificar lo anterior.

Los estudios de tomografía eléctrica realizados en la calzada del puente demostraron dos puntos importantes:

A- Fue posible observar zonas de baja resistividad en color azul claro [Figura 7a], dichos valores de resistividad son congruentes con materiales granulares saturados de agua. Los rellenos granulares encima de las bóvedas del puente tenían una humedad significativa a pesar de que no era temporada de lluvia, lo cual favorecía la pérdida de las juntas de la mampostería y daños en las dovelas [Figura 6c y 6d], generando el principal problema estructural del puente, esta humedad entraba por diferentes puntos favorecida por el pobre drenaje y el empedrado afectado por la pérdida de baldosas fracturadas y reparaciones mal ejecutadas en la superficie de rodamiento, debido a la falta de un sistema adecuado para evacuar las aguas pluviales.

B-La tomografía eléctrica transversal a la calzada [Figura 7b] permitía definir claramente la existencia de tres estratos en la calzada, primero en azul uno de altísima resistividad consistente con las baldosas de escoria de fundición, luego en verde un estrato de una resistividad más baja que pudo inferirse como el empedrado original del puente ya que contrasta con la zona de relleno granular con presencia de humedad en color amarillo de baja resistividad. Lo anterior permitió realizar sondeos en los cuales se comprobó la presencia del empedrado original bajo las baldosas de escoria de fundición [Figura 7c]. Se encontró que las baldosas de escoria se habían asentado sobre el empedrado original del puente, utilizando un mortero pobre de cal-arena con el cual se generaron las pendientes transversales descritas anteriormente [Figura 7d], sin embargo, en su mayoría las baldosas no tenían una adherencia con el empedrado y pudieron ser retiradas fácilmente, lo que demostró una falla significativa en el sistema constructivo. Además, se reveló un rejuntado con una pasta de arena cribada con cal entre las baldosas existentes.

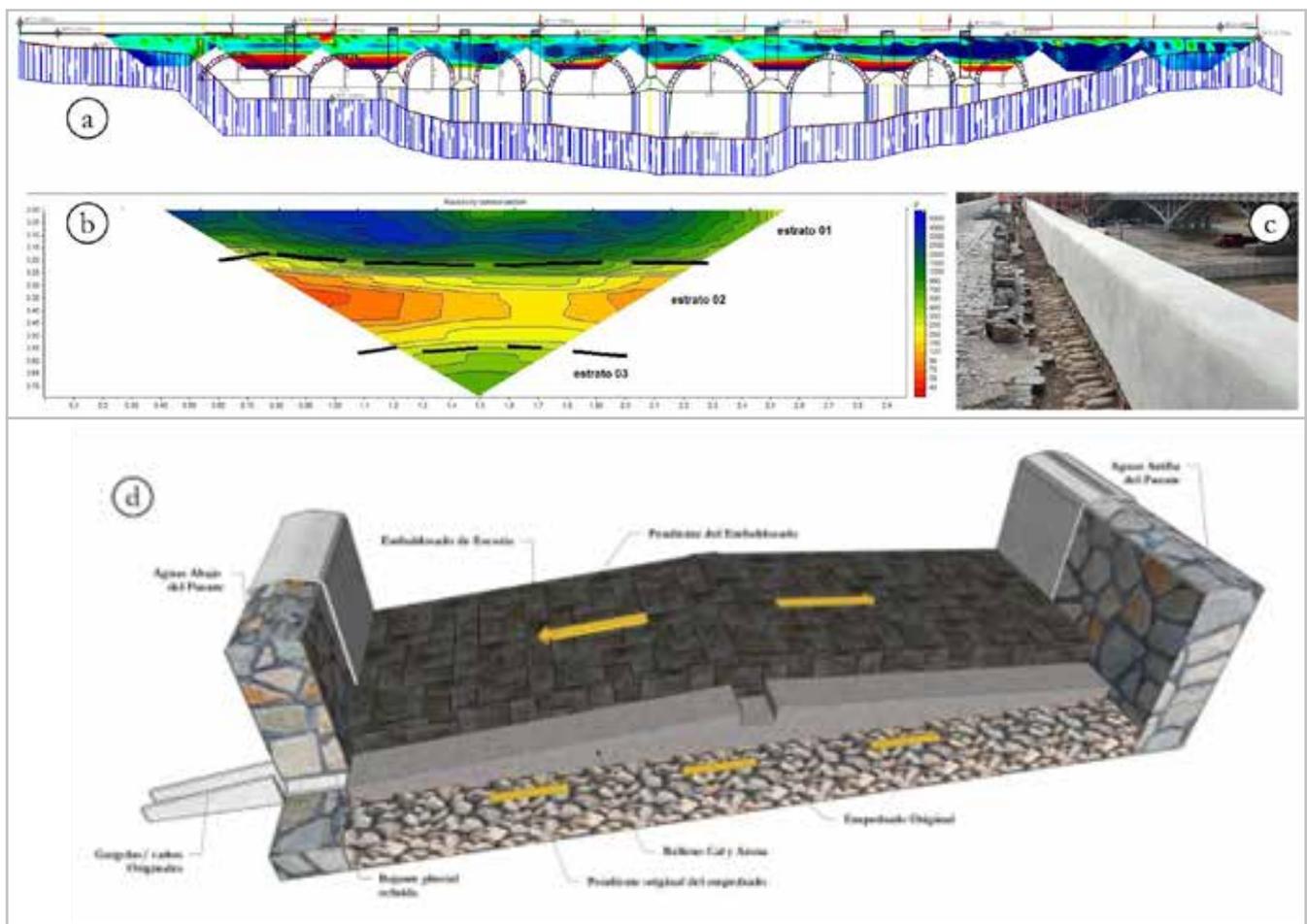
A partir del ensayo de resistividad en una probeta de escoria se obtuvieron valores muy altos de resistividad y resistencia [Tabla 1], aun comparados con rocas de alta densidad. Si bien “Las rocas ígneas y metamórficas suelen tener valores altos de resistividad” (Feijoo 2020:63), en gran

medida su resistividad depende del contenido de vacíos en la roca, los cuales pueden ser debidos a la porosidad o a las fracturas presentes en la roca, si bien el material analizado disminuye su resistencia al estar saturado en agua bidestilada, la reducción no es tan significativa como en otros materiales de alta porosidad como las piedras utilizadas en el puente, lo que demostraba una incompatibilidad con los materiales originales más porosos y susceptibles a la transpiración (Young 2008:10).

A partir de los resultados obtenidos [Tabla 2] podemos afirmar que las baldosas de escoria de fundición, tienen una altísima densidad promedio de alrededor de 3334kg/m<sup>3</sup>. Este valor es superior al de la mayoría de las rocas [Figura 8], considerando dicha densidad y un espesor promedio de la capa de baldosas de 13 cm, [Figura 6c] el puente recibe una carga muerta adicional de 450 kg/m<sup>2</sup> lo cual resulta sumamente desfavorable, considerando las condiciones estructurales actuales de las bóvedas. Por otro lado, si bien los valores de porosidad y porcentaje de humedad absorbida son relativamente bajos [Tabla 2], esto no resulta precisamente favorable para el sistema estructural, puesto que crea una capa impermeable con

fracturas que permiten el paso de la humedad [Figura 6a], pero dificultan su evaporación al medio ambiente, generando condiciones de humedad altas en los rellenos granulares que se ubican sobre las bóvedas del puente, generando daños a las juntas debido a los fenómenos de cristalización descritos por Young (Young 2008:10). La preparación de las probetas cúbicas para el ensayo a compresión, reveló la presencia de fracturas internas en la probeta de escoria, por lo cual solo pudieron ser cortadas y rectificadas nueve piezas, cuatro de la zona del puente (SI) y cinco del banco de escorias de la fundidora (CG), las piezas fueron medidas y pesadas en conformidad con la normatividad aplicable. Estas nueve probetas fueron sometidas a un ensayo por compresión simple y llevadas a la falla [Figura 9a], registrándose la carga total antes de la falla del espécimen y la resistencia a compresión simple determinada por la prensa [Figura 9b]. Los resultados del ensayo fueron calculados también de manera independiente y transformados a MPa, de conformidad con la normativa descrita (ASTM C170 2009:1-3) [Tabla 3].

Los ensayos a compresión mostraron que el material posee alta resistencia a la compresión (Singh 2011:46).



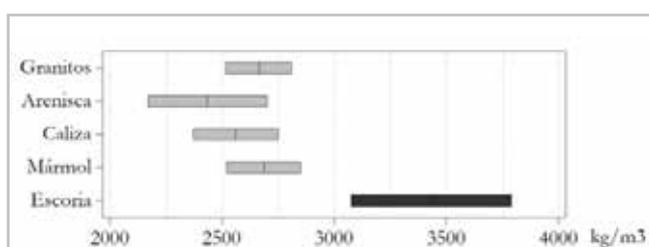
**Figura 7.-** a) Diagrama longitudinal de Resistividades en el puente “San Ignacio” Modificada a partir de Maldonado (Maldonado 2021:124), b) Diagrama transversal de resistividades en la calzada del puente. Elaboración propia. c) Retiro de la primera capa de baldosas de fundición a los costados de la calzada. Modificada a partir de Maldonado (Maldonado 2021:61). d) Diagrama de la sección transversal existente, Elaboración propia.

Estado Seco		Estado Saturado	
Resistencia Eléctrica (Ohmios)	Resistividad (Ohmios-metro)	Resistencia Eléctrica (Ohmios)	Resistividad (Ohmios-metro)
69,265.83	4610.33	32,945.00	2192.82

**Tabla 1.-** Valores de resistividad y resistencia para la probeta de escoria de fundición. Modificada a partir de Maldonado (Maldonado 2021:80).

PROBETA	P <sub>i</sub> (gr)	P <sub>s</sub> (gr)	P <sub>h</sub> (gr)	V (cm <sup>3</sup> )	% h	%h <sub>abs</sub>	σ (gr/cm <sup>3</sup> )	Porosidad
SI-1	4571	4570	4585	1432	0.022%	0.328%	3.191	1.047%
SI-2	1151	1150	1157	360	0.087%	0.609%	3.194	1.944%
SI-3	575	573	575	173	0.349%	0.349%	3.312	1.156%
SI-4	2013	2012	2022	620	0.050%	0.497%	3.245	1.613%
SI-5	345	345	345	105	0.000%	0.000%	3.286	0.000%
SI-6	267	267	268	71	0.000%	0.375%	3.761	1.408%
CG-1	1523	1522	1527	459	0.066%	0.329%	3.316	1.089%
CG-2	654	652	656	205	0.307%	0.613%	3.180	1.951%
CG-3	905	903	908	267	0.221%	0.554%	3.382	1.873%
CG-4	360	360	361	95	0.000%	0.278%	3.789	1.053%
CG-5	523	522	523	163	0.192%	0.192%	3.202	0.613%
CG-6	506	505	507	149	0.198%	0.396%	3.389	1.342%
CG-7	564	562	565	173	0.356%	0.534%	3.249	1.734%
CG-8	201	200	202	65	0.500%	1.000%	3.077	3.077%
CG-9	461	460	461	134	0.217%	0.217%	3.433	0.746%
<b>PROMEDIO</b>					<b>0.171%</b>	<b>0.418%</b>	<b>3.334</b>	<b>1.377%</b>

**Tabla 2.-** Propiedades físicas de la escoria de fundición. Elaboración propia.



**Figura 8.-** Comparación de la densidad promedio de otras rocas conocidas con respecto a la escoria de fundición, modificada a partir de Zhang (Zhang 2017:52).

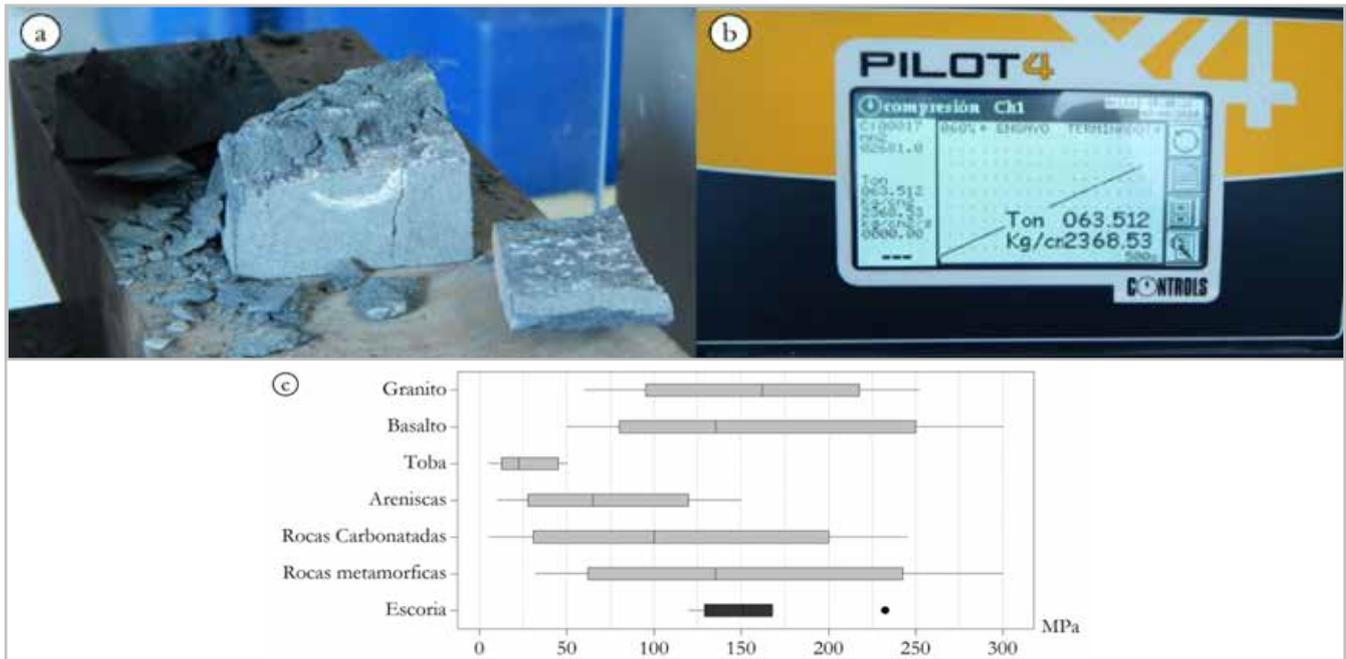
Sin embargo, al compararla con otras rocas [Figura 9c] la resistencia relativa no es tan alta, además, los resultados mostraron una varianza alta, posiblemente ocasionada por las microfisuras preexistentes en el material (Hajiabdolmajid 2002:1). El tipo de falla observado durante los ensayos puede clasificarse como una falla frágil, puesto que las probetas de escoria fallaron de manera súbita sin mostrar una deformación plástica significativa, a pesar de tener una alta resistencia a la compresión, lo cual se corresponde con el mecanismo del comportamiento frágil, el cual se da por la propagación de grietas, que pueden producirse a cualquier escala (Scholz 2019:1).

Este comportamiento frágil mostrado por las probetas analizadas, se puede extrapolar al comportamiento de las baldosas de escoria colocadas en la intervención de principios del siglo XX al puente “San Ignacio”, ya que, conforme la frecuencia y el peso de los vehículos que circulaban sobre el puente fue avanzando, las baldosas de escoria se fueron fracturando al flexionarse [Figura 6b] por efecto de las cargas dinámicas asociadas con el tráfico. A pesar de la alta resistencia a compresión de las piezas, su baja capacidad para deformarse ante las cargas aplicadas y la falla del mortero con que fueron asentadas, originó fracturas significativas en las baldosas [Figura 6b], aunque también es muy posible que el efecto de la fatiga por efecto de los ciclos de carga y descarga, como los esperados en el tráfico del puente sobre los materiales, facilitará la fragilidad de las baldosas (Liu 2021:1225).

A partir de todo lo anterior, es posible afirmar que la presencia del embaldosado significa un riesgo importante a mediano plazo para la conservación del puente, puesto que altera su funcionamiento estructural e hidráulico y no existe compatibilidad con los materiales originales.

**Conclusiones**

El sistema constructivo empleado en el embaldosado de la intervención del puente “San Ignacio” de principios del siglo



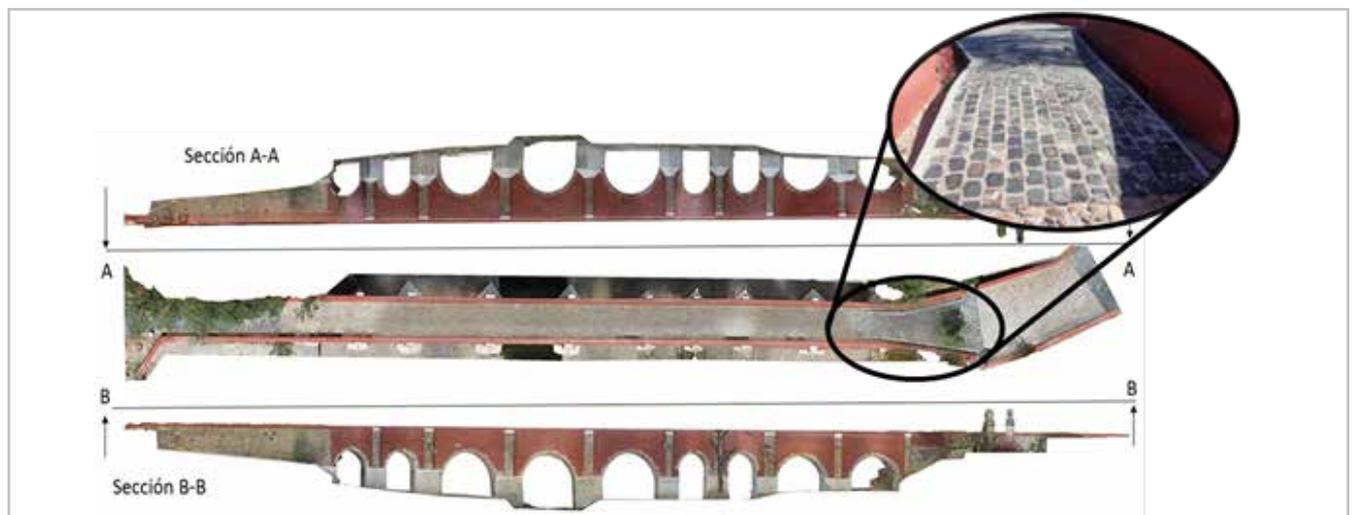
**Figura 9.-** a) Falla frágil de las muestras ensayadas a compresión simple, b) Altas resistencias alcanzadas por las probetas de escoria (Probeta 9). Elaboración propia. c) Comparación de la resistencia a compresión simple de la escoria de fundición con otras rocas comunes. Modificada a partir de Siegesmund (Siegesmund 2011:172).

Probeta	$\sigma_c$ MPa
Probeta 1 (SI)	146.48
Probeta 2 (SI)	126.15
Probeta 3 (SI)	131.40
Probeta 4 (SI)	151.05
Probeta 5 (CG)	166.76
Probeta 6 (CG)	160.56
Probeta 7 (CG)	119.48
Probeta 8 (CG)	168.51
Probeta 9 (CG)	232.32
<b>Promedio</b>	<b>155.86</b>

**Tabla 3.-** Tabla 3 Resultados de ensayos a compresión simple de las muestras de escoria del puente “San Ignacio” (SI) y “Cerro de la Grasa” (CG). Elaboración propia

XX, construido a partir de baldosas de escoria subproducto de la industria de la fundición en Aguascalientes, presentó fallos significativos desde su concepción, lo cual generó diversas problemáticas en el funcionamiento del puente, que repercutieron en su salud estructural, por lo cual se recomendó al Instituto Nacional de Antropología e Historia su retiro durante los procesos de intervención que tuvieron lugar en el año 2021.

La decisión de construir el embaldosado encima del empedrado original sin respetar las pendientes transversales originales (hacia aguas abajo del puente), las cuales fueron cambiadas por una pendiente doble [Figura 7d], elevando el nivel de la calzada y ocluyendo el sistema de drenaje original, siendo este sustituido por orificios en el parapeto, generó un



**Figura 10.-**Ortofotos de planta y fachadas, puente San Ignacio tras su restauración y la rampa de acceso al puente “San Ignacio” tras la peatonalización, construida con las baldosas de escoria de fundición. Modificada a partir de Valdez (Valdez 2023:98).

mal drenaje de la calzada y daños por escurrimiento en los muros del puente, lo cual facilitó la entrada de humedad en los rellenos granulares ubicados sobre las bóvedas del puente.

El sistema constructivo aplicado en la intervención fue planteado considerando las cargas de la época, las cuales se han incrementado a través de los años, ocasionando la falla del mortero pobre sobre el cual fueron asentadas las baldosas de escoria, propiciando una mala distribución de esfuerzos en las piezas, lo cual en conjunto con las características litológicas de baja deformación plástica del material, generó fallas de tipo frágil, concluyendo en la fractura de la mayoría de las baldosas, debido a los esfuerzos de flexión y la fatiga a la que fueron sometidas por efectos del tráfico a través de las décadas. Además de lo anterior la alta densidad del material significaba una carga muerta innecesaria de más de 500 kg/m<sup>2</sup>, por lo que su retiro aliviaría las cargas de la calzada.

Las fracturas en las baldosas y la pérdida de piezas por la falla del mortero, en conjunto con el pobre drenaje de la calzada, propiciaron la entrada de humedad a los rellenos del puente y su persistencia en el tiempo, debido a la falta de transpiración del empedrado, ocasionada por la baja porosidad efectiva del material, demostrada por una alta resistividad eléctrica y las pruebas de laboratorio realizadas. Esto constituía un problema de compatibilidad entre los materiales originales y los empleados en la intervención anterior. Esta presencia de agua sostenida en el tiempo intensificaba los daños por cristalización de sales en las juntas y dovelas del intradós de las bóvedas, lo cual significaba un riesgo fuerte de colapso a mediano plazo.

A partir de lo antes mencionado, el proceso de restauración del puente emprendido por el INAH incluyó el retiro total del empedrado conforme a las recomendaciones, lo cual permitió liberar el empedrado original detectado por el estudio geofísico y los sondeos, el cual fue intervenido para garantizar su funcionalidad. Esta liberación permitió también el funcionamiento del sistema de drenaje original, para lo cual fueron sustituidas las gárgolas rotas en el lado aguas abajo del puente, recuperando plenamente su funcionalidad. Sin embargo, dado que el nivel de la calzada al retirar el empedrado, no se correspondía con los niveles actuales de la vialidad, se decidió construir rampas en los accesos al puente [Figura 10] utilizando las piezas mejor conservadas seleccionadas durante el desmantelamiento del empedrado, con la finalidad de poner en valor el proceso de fabricación de estas sin comprometer el funcionamiento del puente ahora peatonalizado.

## Agradecimientos

Agradecemos las facilidades prestadas en el uso de laboratorios y equipos a la Universidad Autónoma de Aguascalientes y el Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, así como al Centro INAH Aguascalientes por el acompañamiento realizado y al Dr. Francisco Mercado por su apoyo.

## Referencias

- ASTM STANDARD C 127–88 (2001). Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate. Pennsylvania: *ASTM International*. <https://doi.org/10.1520/C0127-88R01>
- ASTM STANDARD C170/C170M–09 (2009). Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone. Pennsylvania: *ASTM International*. [https://doi.org/10.1520/C0170\\_C0170M-09](https://doi.org/10.1520/C0170_C0170M-09)
- BENAVENTE, D. *et al.* (2004). "Estudio de propiedades físicas de las rocas", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12.1: 62-68.
- BOILS MORALES, G. (2009). "Los puentes de la Independencia" *Boletín De Monumentos Históricos*, 16: 155–167.
- GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ, J. A. (1999). *Historia de la Iglesia Católica en Aguascalientes*. Volumen I. Parroquia de la Asunción de Aguascalientes. Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- HAJIABDOLMAJID, V., *et al.* (2002) "Modelling brittle failure of rock". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 39: 731-741. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(02\)00051-5](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(02)00051-5).
- LIU, Y., DAI, F. (2021). "A review of experimental and theoretical research on the deformation and failure behavior of rocks subjected to cyclic loading". *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13.5: 1203-1230. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.03.012>.
- MALDONADO ARÉVALO, A. (2021). "Caracterización de rellenos granulares en puentes patrimoniales en Aguascalientes mediante métodos no invasivos". *Universidad Autónoma de Aguascalientes*. <https://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/2177>
- MESHAM, S., *et al.* (2023). "Waste slags as sustainable construction materials: a compressive review on physico mechanical properties". *Journal of Materials Research and Technology*, 23: 5821-5845, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.02.176>.
- NAVARRATE, M. *et al.* (2013). "Caracterización de propiedades físico-mecánicas de rocas ígneas utilizadas en obras de infraestructura" *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, 3.2:133-143.
- NORGATE, T. *et al.* (2013). "Rock Smelting of Copper Ores with Waste Heat Recovery". *REWAS 2013*: 217-218. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-48763-2\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48763-2_23)
- SCHOLZ, C. H. (2019). "Brittle fracture of rock". En *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*. Scholz, C. H. (coord.). Cambridge: Cambridge University Press:1-42. <https://doi.org/10.1017/9781316681473>.
- SHENG, Y., *et al.* (2024). "Experimental study of sulfate crystallization damage to glutenite rock in the Majjishan Grottoes". *Heritage Science* 12, 98: 1-15. <https://doi.org/10.1186/s40494-024-01214-4>
- SIEGSMUND, S., DÜRRAST, H. (2011). "Chapter 3 Physical and Mechanical Properties of Rocks". En *Stone in Architecture 4th ed.*, Siegsmund, S., Snethlage, R. (coord.). Berlin Heidelberg: Springer-

Verla, 97-225. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-14475-2>.

SILVA LEÓN, I., REYES TRUJQUE, J., y ESCALANTE DÍAZ, C. (2021). "Establecimiento del grado de alteración en muros de edificios históricos de San Francisco de Campeche, México, empleando análisis de imágenes y el sistema de estadificación UAS". *Ge-Conservación* 19(1): 126-40. <https://doi.org/10.37558/gec.v19i1.861>.

SINGH B., GOEL R. K. (2011). "Chapter 6 - Rock Mass Rating", En *Engineering Rock Mass Classification*, Singh B., Goel R.K. (coord.), Roorkee: Butterworth-Heinemann, 45-62, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385878-8.00006-9>.

VALDEZ A., J. (2023). "Aplicación de la fotogrametría aérea para la elaboración de modelos 3D de edificios patrimoniales del estado de Aguascalientes" en *repositorio de tesis de la biblioteca digital de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/2818> [consulta: 01/05/2024].

YOUNG, D. (2008). *Salt attack and rising damp A guide to salt damp in historic and older buildings*, New South Wales: Heritage Victoria, Department of Planning and Community Development ISBN 978-0-9805126-5-6

ZHANG, L. (2017). *Engineering Properties of Rocks* (Second Edition), Tucson: Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802833-9.00007>

## Autor/es



**Miguel Angel Soto-Zamora**  
[miguel.soto@edu.uaa.mx](mailto:miguel.soto@edu.uaa.mx)  
Universidad Autónoma de Aguascalientes.  
México  
<https://orcid.org/0000-0003-1399-8001>

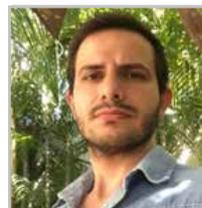
Ingeniero Civil, Maestro en Ingeniería Civil y Doctor en Ciencias de los Ámbitos Antrópicos por la Universidad Autónoma de Aguascalientes, Profesor Investigador del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Aguascalientes con 14 años de antigüedad, Miembro de la Sociedad Española de Historia de la Construcción de 2015 a 2019, Secretario Técnico de la Maestría en Ingeniería Civil 2017 a 2019, con 4 tesis y tesinas de Licenciatura Maestría y Doctorado dirigidas.



**Rubén Alfonso López-Doncel**  
[rlopez@uaslp.mx](mailto:rlopez@uaslp.mx)  
Instituto de Geología Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México  
<https://orcid.org/0000-0002-7596-8505>

Ingeniero Geólogo por la Universidad Autónoma de Nuevo León en Linares, Maestría y Doctorado en la Universidad Técnica de Clausthal, Alemania, con la especialidad en Geología Petrolera. Investigador de Tiempo Completo adscrito al Instituto de Geología de la UASLP. Director del Instituto de

Geología de la UASLP. Ha participado en diversos proyectos nacionales e internacionales, entre los que destacan proyectos en Alemania, Turquía, Sudáfrica, Armenia, Cuba, República Dominicana, Albania, Omán, Jordania entre otros. Docencia y asesoría posee al 2023: 38 artículos científicos arbitrados. Asesor de 23 tesis de Licenciatura, 19 tesis de Maestría y 3 de Doctorado; es Miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel 2 (SNI2).



**Isaías Edén Vizcaíno-Hernández**  
[edenv15@gmail.com](mailto:edenv15@gmail.com)  
Universidad Autónoma de Aguascalientes.  
México  
<https://orcid.org/0000-0003-1477-4384>

Arquitecto por el Instituto Tecnológico Superior de El Grullo, y Maestría en Ingeniería Civil y Doctorado en Ciencias de los ámbitos antrópicos por la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Estancia de investigación en Universidad Autónoma de San Luis Potosí en 2017.



**Andrea Maldonado-Arévalo**  
[ama.ic@outlook.com](mailto:ama.ic@outlook.com)  
Universidad Autónoma de Aguascalientes.  
México

Ingeniera Civil y Maestra en Ingeniería Civil por la Universidad Autónoma de Aguascalientes con la tesis: Caracterización de rellenos granulares en puentes patrimoniales en Aguascalientes mediante métodos no invasivos.

Artículo enviado 05/03/2024  
Artículo aceptado el 06/05/2024



<https://doi.org/10.37558/gec.v24i1.1302>



# El patrimonio cultural en la guerra de Ucrania: amenazas y vulnerabilidades

Pilar Montero Vilar

*“Después de la guerra [II Guerra Mundial] se debatió (...) quién era el responsable de las numerosas destrucciones en Kiev, que fue tomada y vuelta a tomar dos veces por cada bando, pero los ucranianos, que habían recibido a los nazis como libertadores, solo para descubrir que eran verdugos, tuvieron que pagar caro por este periodo cuando volvió el régimen soviético”. Lynn H. Nicholas, El saqueo de Europa*

*“No hay nada más fuerte que la determinación de millones de personas que, por su cultura, religión, tradiciones y lengua, se consideran parte de Rusia, cuyos antepasados vivieron en un solo país durante siglos. No hay nada más fuerte que su determinación de regresar a su verdadera patria histórica”. Vladimir Putin. Discurso pronunciado con motivo de la Firma de los tratados de adhesión de las repúblicas populares de Donetsk y Lugansk y de las regiones de Zaporozhye y Kherson a Rusia el 30 de septiembre de 2022*

**Resumen:** En este artículo se estudia cuál es el papel que está jugando el patrimonio cultural en la guerra de Ucrania y se identifica algunas de sus amenazas y vulnerabilidades para poder establecer, de este modo, un contexto de riesgo. A lo largo del mismo se podrá comprobar que, lejos de considerarse la destrucción del patrimonio como “un daño colateral”, el patrimonio cultural en esta guerra es un objetivo de guerra, dado el valor simbólico que le atribuye el Kremlin al patrimonio de Ucrania. De esta manera, su destrucción puede ser explotada por el ejército invasor como parte de una estrategia híbrida de coerción, dominación y desestabilización a la vez que las comunidades damnificadas lo perciben como una aniquilación conducente a minar y eliminar su identidad cultural.

**Palabras clave:** patrimonio cultural, Ucrania, Rusia, guerra, vulnerabilidad, objetivo de guerra

## Cultural heritage in the Ukrainian war: hazards and vulnerabilities

**Abstract:** This article studies the role that cultural heritage is playing in the war in Ukraine and its main hazards and vulnerabilities to establish a risk context. Throughout the article it will be shown that, far from considering the destruction of heritage as “collateral damage”, cultural heritage in this war is a war objective, given the symbolic value attributed by the Kremlin to Ukraine’s heritage. Thus, its destruction can be exploited by the invading army as part of a hybrid strategy of coercion, domination and destabilization, while the affected communities perceive it as an annihilation aimed at undermining and eliminating their cultural identity.

**Keywords:** cultural heritage, Ukraine, Russia, war, vulnerability, war aim

## Património cultural na guerra da Ucrânia: ameaças e vulnerabilidades

**Resumo:** Este artigo estuda o papel que o património cultural está a desempenhar na guerra da Ucrânia e identifica algumas das suas ameaças e vulnerabilidades para estabelecer um contexto de risco. Verificar-se-á que, longe de considerar a destruição do património como “dano colateral”, o património cultural nesta guerra é um objectivo de guerra, dado o valor simbólico que o Kremlin atribui ao património da Ucrânia. Assim, a sua destruição pode ser explorada pelo exército invasor como parte de uma estratégia híbrida de coerção, dominação e desestabilização, enquanto as comunidades afectadas a percebem como uma aniquilação que conduz ao enfraquecimento e à eliminação da sua identidade cultural.

**Palavras-chave:** património cultural, Ucrânia, Rússia, guerra, vulnerabilidade, objectivo de guerra

## Introducción

El 24 de febrero de 2022 Rusia invadió Ucrania en una guerra que, desde el primer momento, fue calificada por los analistas como una situación sin precedentes: después de una pandemia mundial, la nueva crisis volvería a cambiar el juego geopolítico establecido desde la Guerra Fría. En relación con los bienes culturales, las experiencias previas de destrucciones patrimoniales en conflictos armados en los Balcanes, Irak, Libia, Afganistán, Mali o Siria hacían prever una situación muy preocupante en un país que posee una rica historia y un patrimonio destacable con ocho bienes inscritos en la Lista de Patrimonio Mundial y cinco en la Lista del Patrimonio Inmaterial de la Unesco. Desde el inicio de la guerra, el ataque a monumentos, museos y otros bienes culturales provocó una movilización sin precedentes, si bien, la nueva situación no representó una sorpresa para la Unesco, que lleva desde 2014 monitorizando la zona invadida por Rusia y emitiendo informes sobre la nada alentadora situación en las áreas de su competencia.

Una de las tareas fundamentales de la primera fase del ciclo de gestión de riesgos, dedicada al análisis y evaluación, consiste en identificar sus factores. Tal y como expone Cardona (2004) el riesgo es un concepto complejo, planteado siempre a futuro y que se produce por la interacción de dos tipos de factores: la amenaza y la vulnerabilidad. A lo largo de este artículo se estudia cuál

es el papel que está desempeñando el patrimonio cultural en este conflicto y se identifican sus principales amenazas y vulnerabilidades para establecer, de este modo, un contexto de riesgo. Además, se podrá comprobar que la destrucción del patrimonio, lejos de considerarse un “daño colateral”, es un objetivo del conflicto, dado el valor simbólico que el Kremlin le atribuye y, además, su destrucción es explotada por el ejército invasor como parte de una estrategia híbrida de coerción, dominación y desestabilización a la vez que es percibida, por parte de las comunidades damnificadas, como una aniquilación conducente a minar y eliminar su identidad cultural. Cuando se cumplen dos años desde el inicio de la invasión, la Unesco ha verificado 343 elementos de patrimonio cultural dañados, entre ellos 127 religiosos, 157 de interés histórico o artístico, 31 museos, 19 monumentos, 14 bibliotecas y un archivo<sup>[1]</sup>. [Figuras 1 y 2]

## Las amenazas: Putin y la protección de los valores morales de la Rusia tradicional

La agresión de Rusia a Ucrania el 24 de febrero de 2022 se consideró desde el inicio como la culminación de una escalada de agresiones que había comenzado nueve años antes, en 2013, tras la revuelta proeuropeista conocida con el nombre de Euromaidán, provocada tras la suspensión por parte del gobierno ucraniano prorruso del Acuerdo de Asociación y del Acuerdo de Libre Comercio con la



**Figura 1.-** Biblioteca Regional Juvenil de Chernihiv, antiguo Museo Vasyl Tarnovsky de Antigüedades Ucranianas, Chernihiv (Ucrania)  
Autor: Star61, licencia creative commons CC BY-SA 4.0

Unión Europea. Este escenario provocó la destitución del presidente rusófilo Víktor Yanukovich, hecho que Putin interpretó como un golpe de estado y autorizó entonces el envío de tropas a Ucrania para preservar los derechos de la población rusohablante, situación que el gobierno ucraniano calificó de “declaración de guerra”. Después de que las autoridades de Crimea, de ideología prorrusa, solicitasen la asistencia del gobierno de Moscú, el 18 de marzo de 2014, tras un despliegue de fuerzas militares y un referéndum sobre el estatus político de Crimea y la ciudad de Sebastopol considerado ilegítimo por el gobierno de Kiev, Rusia se anexionó unilateralmente Crimea. Esta acción, no reconocida por Ucrania ni por otras potencias internacionales como los Estados Unidos o la Unión Europea, es considerada ilegítima por el derecho internacional. Como respuesta, la Asamblea General de Naciones Unidas aprobó el 27 de marzo de 2014, aunque sin efecto legal o vinculante alguno, la *resolución 68/262*, denominada *Integridad territorial de Ucrania* en la que se afirma el compromiso de Naciones Unidas para reconocer a Crimea como parte de Ucrania, rechazando el referéndum sobre el estatus político y recalando que “el referendo celebrado en la República Autónoma de Crimea y la ciudad de Sebastopol el 16 de marzo de 2014, al no tener validez, no puede servir de base para modificar el estatuto de la República Autónoma de Crimea o de la ciudad de Sebastopol.”

La configuración territorial e identitaria de Ucrania como nación no se encuentra exenta de vicisitudes. A lo largo de los siglos, sus fronteras han sido cambiantes y su territorio ha sido disputado por diferentes países e imperios. Un ejemplo lo podría presentar Lviv, una ciudad, la segunda en importancia en el país, en la región de Galitzia que, en menos de 40 años, entre septiembre de 1914 y julio de 1944, cambió ocho veces de manos. Así, formó parte del imperio austrohúngaro, de Austria, de Rusia, de nuevo de Austria, de Ucrania Occidental, de Polonia, de la Unión Soviética, de Alemania y finalmente de la Unión Soviética (Sands 2017, 25). Sin embargo, en los últimos 30 años, desde que Ucrania se independizó el 24 de agosto de 1991, se ha desarrollado un fuerte sentido de identidad nacionalista que apoya su soberanía e integridad territorial, así como sus fronteras internacionalmente reconocidas, aunque no se puede negar la presencia de voces disonantes que cuestionan la existencia de Ucrania y que pretenden borrar su identidad y su cultura como resultado de las políticas antiucranianas desarrolladas desde el Kremlin (AAVV. Kurkov 2022).

No cabe duda de que, entre las amenazas identificables en este conflicto, una de ellas es la política imperialista emprendida por el Kremlin hacia Ucrania, de la que podemos encontrar muchas evidencias, como la citada anexión de Crimea, pero también otras más sutiles como la retórica amenazante y los argumentos empleados por parte de Putin en sus discursos desde hace más de una década.

Desde 2008, los investigadores están compilando y estudiando los argumentos y las formas de los discursos de Putin y de los distintos políticos bajo su control contra

Ucrania. El empleo de un lenguaje cada vez más hostil ha sentado las bases para rechazar la existencia de Ucrania como Estado, grupo nacional y cultura. En este contexto los analistas se plantean si puede existir una intención genocida contra el pueblo ucraniano contraviniendo el artículo II c) de la *Convención para la Prevención y la Sanción del Delito de Genocidio* (1948) (Apt 2023). En un artículo publicado en *Time* (Marson 2009), y titulado de manera significativa “Putin to West: Hands off Ukraine”, se cita que, en una reunión de la OTAN en Bucarest, en abril de 2008, Putin describió Ucrania a George Bush del siguiente modo: “No entiendes, George, que Ucrania ni siquiera es un Estado. ¿Qué es Ucrania? Parte de su territorio es Europa del Este, pero la mayor parte es un regalo nuestro”.

El 12 de julio de 2021, solo unos meses antes de la invasión, Putin publicaba un artículo titulado “On the Historical Unity of Russians and Ukrainians” en el que declara lo que considera la desgracia común del pueblo ruso y ucraniano:

“el muro que ha surgido en los últimos años entre Rusia y Ucrania, entre las partes de lo que es esencialmente el mismo espacio histórico y espiritual, en mi opinión es nuestra gran desgracia y tragedia común”.

O apela a un pasado unido para fundamentar su grandeza común:

“rusos, ucranianos y bielorrusos son todos descendientes de la antigua Rus, que fue el estado más grande de Europa. (...) y hasta Kiev y Chernígov” (...) Nuestros lazos espirituales, humanos y de civilización se formaron durante siglos y tienen sus orígenes en las mismas fuentes, se han endurecido por pruebas, logros y victorias comunes. Nuestro parentesco se ha transmitido de generación en generación. Está en los corazones y la memoria de las personas que viven en la Rusia y la Ucrania modernas, en los lazos de sangre que unen a millones de nuestras familias. Juntos siempre hemos sido y seremos muchas veces más fuertes y exitosos. Porque somos un solo pueblo.”

O, finalmente, sugiere que Rusia “fue robada” y cuestiona la soberanía de Ucrania fuera de Rusia:

“no hay “ninguna base histórica” para la idea del pueblo ucraniano como nación separada de los rusos, la ucranización fue a menudo impuesta a quienes no se veían a sí mismos como ucranianos. La Ucrania moderna es enteramente el producto de la era soviética formado sobre las tierras de la Rusia histórica. [Los dirigentes ucranianos] empezaron a mitificar y reescribir la historia, a eliminar todo lo que unía [a Rusia y Ucrania] y a referirse al periodo en que Ucrania formaba parte del Imperio ruso y de la Unión Soviética como una ocupación (...) Estoy seguro de que la verdadera soberanía de Ucrania solo es posible en asociación con Rusia.”



**Figura 2.-** Biblioteca Regional Juvenil de Chernihiv, antiguo Museo Vasyl Tarnovsky de Antigüedades Ucranianas, Chernihiv (Ucrania) después del ataque del 11 de marzo de 2022. Autor Star61, licencia creative commons CC BY-SA 4.0

En este contexto, la célebre frase de Clausewitz “la guerra no es un fenómeno independiente, sino la continuación de la política por otros medios” cobra todo su sentido y es la base sobre la que se sustenta la codicia territorial de la política del Kremlin. Pero, además, Putin y sus seguidores también promueven la deslegitimación de la identidad nacional y de la cultura ucranianas recurriendo a su demonización, evocando al nazismo para justificar la invasión. Putin y la élite ideológica pro-Putin han descrito a los dirigentes políticos ucranianos y al pueblo ucraniano apelando al fantasma de la nazificación y proponen contrarrestarla no solo mediante la represión ideológica y la censura en la esfera política, sino también en las esferas de la cultura y la educación (Sergeytsev 2022).

Estas actuaciones de supuesta “desnazificación” en Crimea han consistido desde 2014 en la eliminación y el borrado de las manifestaciones del patrimonio tangible e intangible de la cultura ucraniana y de la cultura tártara (Unesco, 2022), entre ellas la prohibición de sus lenguas en las escuelas y en la declaración de Rusia como propietaria, inmediatamente después de la anexión, de todos los museos y monumentos de Crimea (Rosén 2022,16).

En 2022, el mismo día del comienzo de la denominada por Rusia, “operación militar especial”, organismos encargados de la protección del patrimonio cultural como la Unesco, ICOM o ICOMOS emitieron sendos comunicados<sup>[2]</sup> condenando la violación de la integridad territorial y la soberanía de Ucrania y manifestando la preocupación por los riesgos a los que se enfrentan los profesionales culturales, así como los previsibles daños que va a sufrir el patrimonio cultural, y pidiendo el respeto al derecho internacional para garantizar la prevención de los daños en todas sus formas. La rapidez en la respuesta, desde el plano institucional, parece un indicio claro de que los ataques al patrimonio cultural y su consiguiente pérdida son contemplados, desde

todas las instancias internacionales y profesionales y, desde el primer momento, como un daño irreversible contra la identidad, los símbolos, los valores y la historia del pueblo ucraniano, y que su destrucción se preveía ya como un componente muy importante del conflicto. Es evidente que, dados los antecedentes de la actuación de Rusia en Crimea, la destrucción del patrimonio forma parte de la estrategia del Kremlin para arrasar con la independencia de Ucrania como Estado soberano (Harding y Sherwood 2022). En efecto, las acciones emprendidas por Rusia en su expansión territorial no solo son el reflejo de sus discursos, sino que se encuentran en coherencia total con la Estrategia de Seguridad Nacional de la Federación Rusa y la relevancia creciente que va adquiriendo el ámbito de la cultura en sus diferentes ediciones. La estrategia de seguridad nacional es el documento en el que se refleja la política de seguridad de un estado y que sirve de marco de referencia al más alto nivel para la concreción de la planificación estratégica de otros documentos, como pueden ser la doctrina militar o la política exterior, y que suele establecerse por un periodo de años concreto.

La Estrategia de Seguridad Nacional de la Federación Rusa de julio 2021 reemplaza la de diciembre de 2015 y esta a su vez a la de 2009. En la Estrategia de 2009 ya se menciona que “...las infracciones ilegales contra los bienes culturales” suponen una de las dos principales amenazas contra la seguridad nacional en la esfera cultural” (Rosén 2022,17). Pero la importancia atribuida a la cultura aumenta en las siguientes *Estrategias*, hasta llegar a la actual. En la de 2015 se menciona el fortalecimiento de la seguridad nacional en el ámbito de la cultura, que se ve favorecido por “el refuerzo del control estatal sobre el estado de las instalaciones del patrimonio cultural (monumentos de la historia y la cultura) y el aumento de la responsabilidad por violar las exigencias de su conservación, utilización y protección estatal” (Rosén 2022,17). Tanto en las versiones de 2015 como en la de 2021 presentan nueve prioridades estratégicas nacionales consideradas esenciales para garantizar la seguridad rusa, pero mientras que en la de 2015 se habla de la cultura en un sentido genérico, en la vigente de 2021 se especifica y se nombra la protección de los valores morales de la Rusia tradicional, de la cultura y de su patrimonio histórico. En la comparación entre las nueve prioridades de las Estrategias de 2015 y 2021 [Tabla1] vemos cómo la cultura adquiere un mayor desarrollo y orientación estratégica específica (Güler y Shakirova 2021). Esta especificidad aparece desglosada en el Concepto de Política Exterior de la Federación Rusa aprobado el 31 de marzo de 2023, en el que además de aparecer referencias a la promoción de la lengua rusa y a la religión ortodoxa rusa se especifica en el punto 44 que con el fin de “contrarrestar la falsificación de la historia, la incitación al odio contra Rusia, la difusión de la ideología del neonazismo, el exclusivismo racial y nacional y el nacionalismo agresivo, así como para el

Prioridades de la Estrategia de Seguridad Nacional de la Federación Rusa	
Estrategia de Seguridad Nacional 2015	Estrategia de Seguridad Nacional 2021
Reforzar las capacidades de defensa nacional/Protección de la soberanía	Reforzar las capacidades de defensa nacional/Protección de la soberanía
Mejorar la calidad de vida de los ciudadanos rusos	Protección del pueblo ruso y desarrollo del potencial humano
Estado y Seguridad Pública	Estado y Seguridad Pública
Crecimiento económico	Seguridad económica
Ciencia, Tecnología y Educación	Desarrollo científico y tecnológico
Protección de la salud pública	
Cultura	Protección de los valores morales, la cultura y el patrimonio histórico tradicionales rusos
Ecología y uso racional de los recursos naturales	Seguridad medioambiental y uso racional de los recursos naturales
Estabilidad estratégica y asociación estratégica igualitaria (con todos, incluidos EE.UU. y Europa)	Estabilidad estratégica y cooperación internacional mutuamente ventajosa (principalmente con los países de la CEI, los BRICS, la OCS, China y la India)
	Seguridad de la información

**Tabla 1.-** Comparativa entre las nueve prioridades de las Estrategias de Seguridad Nacional de Rusia de los años 2015 y 2021. Fuente: *Observer Research Foundation*, 18 recogido en Güler, M Ç y Shakirova A. (2021) [La traducción es mía]

fortalecimiento de los fundamentos morales, jurídicos e institucionales de las relaciones internacionales contemporáneas, basados principalmente en el resultado generalmente reconocido de la Segunda Guerra Mundial" se pretende dar prioridad entre otras cuestiones a la "adopción de medidas de respuesta contra los Estados extranjeros y sus asociaciones, funcionarios extranjeros, organizaciones y ciudadanos implicados en actos hostiles contra sitios rusos de valor histórico y conmemorativo situados en el extranjero" y a la "promoción de una cooperación internacional constructiva para la preservación del patrimonio histórico y cultural [ruso]".

El patrimonio ruso posee, por tanto, un valor instrumental y estratégico fundamental, y es empleado como herramienta política e ideológica de la estrategia de seguridad nacional. Este valor utilitario y dinámico, utilizado en el contexto de una política imperialista, que le atribuye Rusia al patrimonio es todavía más relevante si se compara con la ausencia casi total de este aspecto en las estrategias de seguridad nacional de los países occidentales que perciben el patrimonio cultural como un elemento estático, portador de valores universales y sin utilidad política que hay que proteger y conservar. Por contar dos ejemplos, podemos señalar que en la *Estrategia de Seguridad Nacional de los Estados Unidos* de la administración Biden-Harris 2022 solamente hay cuatro referencias a la palabra cultura o al patrimonio cultural, dos de ellas para referirse a la cultura de China

y Rusia y las otras dos restantes para referirse de una manera genérica a los derechos culturales y su relación con los derechos humanos. Pero si citamos la *Estrategia de Seguridad Nacional de España* (2021) podemos comprobar que la única referencia al patrimonio cultural se sitúa en el apartado sobre la vulnerabilidad del espacio marítimo en relación con los actos contra el patrimonio arqueológico subacuático, pero sin vinculación alguna con atribuciones de protección de los valores morales en la línea que propugna Rusia en su estrategia de seguridad nacional.

La OTAN, en su Concepto Estratégico aprobado en la Cumbre de Madrid de 2022, también considera en su punto 8 a la Federación Rusa como "la amenaza más significativa y directa para la seguridad de los Aliados y para la paz y la estabilidad en la zona euroatlántica. Pretende establecer esferas de influencia y control directo mediante la coerción, la subversión, la agresión y la anexión. Utiliza medios convencionales, cibernéticos e híbridos contra nosotros y nuestros socios" (NATO 2022). Y considera que el ataque sistemático contra el patrimonio cultural y su destrucción está siendo empleado como "un elemento más de la guerra híbrida en el ámbito cognitivo para crear efectos políticos, estratégicos o tácticos en apoyo de objetivos políticos" (Rosén 2022, V) que Rusia utiliza con fines propagandísticos y de movilización para socavar la cohesión política amplificando las divisiones. Esta estrategia pretende explotar la cualidad simbólica

y emocional del patrimonio cultural para atacar los sentimientos colectivos y la identidad de grupo (Rosén 2022, 9). De hecho, la OTAN reconoce que la protección de los bienes culturales es una consideración esencial en el entorno militar y un indicador crítico de la seguridad, cohesión e identidad de las comunidades, así como un componente valioso de los esfuerzos de la Alianza por consolidar la paz y la seguridad<sup>[3]</sup>. Prueba de ello es la existencia de unidades de protección del patrimonio cultural en diversos ejércitos de los estados miembros de la OTAN (Estados Unidos, Italia, Francia, Países Bajos o Reino Unido).

Por consiguiente, se puede concluir que, si hasta ahora el patrimonio se ha tratado como una prioridad política de segundo o tercer orden, la amenaza que pesa sobre él hace que su protección se constituya como un importante desafío para el orden internacional establecido (Luck 2018) y empiece a ser visto como un elemento de alto riesgo. Por tanto, no nos debe sorprender que, como consecuencia de este conflicto y dadas las atribuciones que poseen sobre el patrimonio, el ministro de educación y la ministra de cultura rusos, así como el director del Hermitage, hayan sido sancionados por parte de varios gobiernos de países occidentales y de la propia Unión Europea<sup>[4]</sup>.

### **Las vulnerabilidades. La guerra, una oportunidad para el “intercambio cultural”**

El *Diccionario de Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres* de Naciones Unidas (2009) define la vulnerabilidad como las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza. El análisis del riesgo conlleva inequívocamente un análisis de las vulnerabilidades porque su reducción implica una mejora en la gestión del riesgo. En este análisis, la vulnerabilidad de los bienes patrimoniales se establece a partir del estudio de la capacidad de respuesta de Ucrania para protegerlos en caso de conflicto armado, en tanto que la vulnerabilidad presenta una correlación directa entre la capacidad destructiva del enemigo y la incapacidad para proteger por parte del país custodio. Desgraciadamente, elementos destruidos en conflictos recientes como en los Balcanes, Afganistán, Etiopía, Irak, Libia, Mali, Nagorno-Karabaj, Siria o Yemen constituyen ejemplos paradigmáticos de ello.

Diferentes informes y documentos ya existentes, o generados con posterioridad al estallido del conflicto, aportan datos sobre la situación a la que se enfrenta el patrimonio en Ucrania y permiten deducir cuáles son sus principales vulnerabilidades.

Analizar lo que ha estado ocurriendo en Crimea desde marzo de 2014 sirve como punto de partida.

Cuando Rusia se anexionó Crimea movilizó sentimientos de hermandad en apoyo de su objetivo político y Putin aludió al patrimonio cultural de la península y a Rusia como su “auténtico propietario” (Rosén 2022,15).

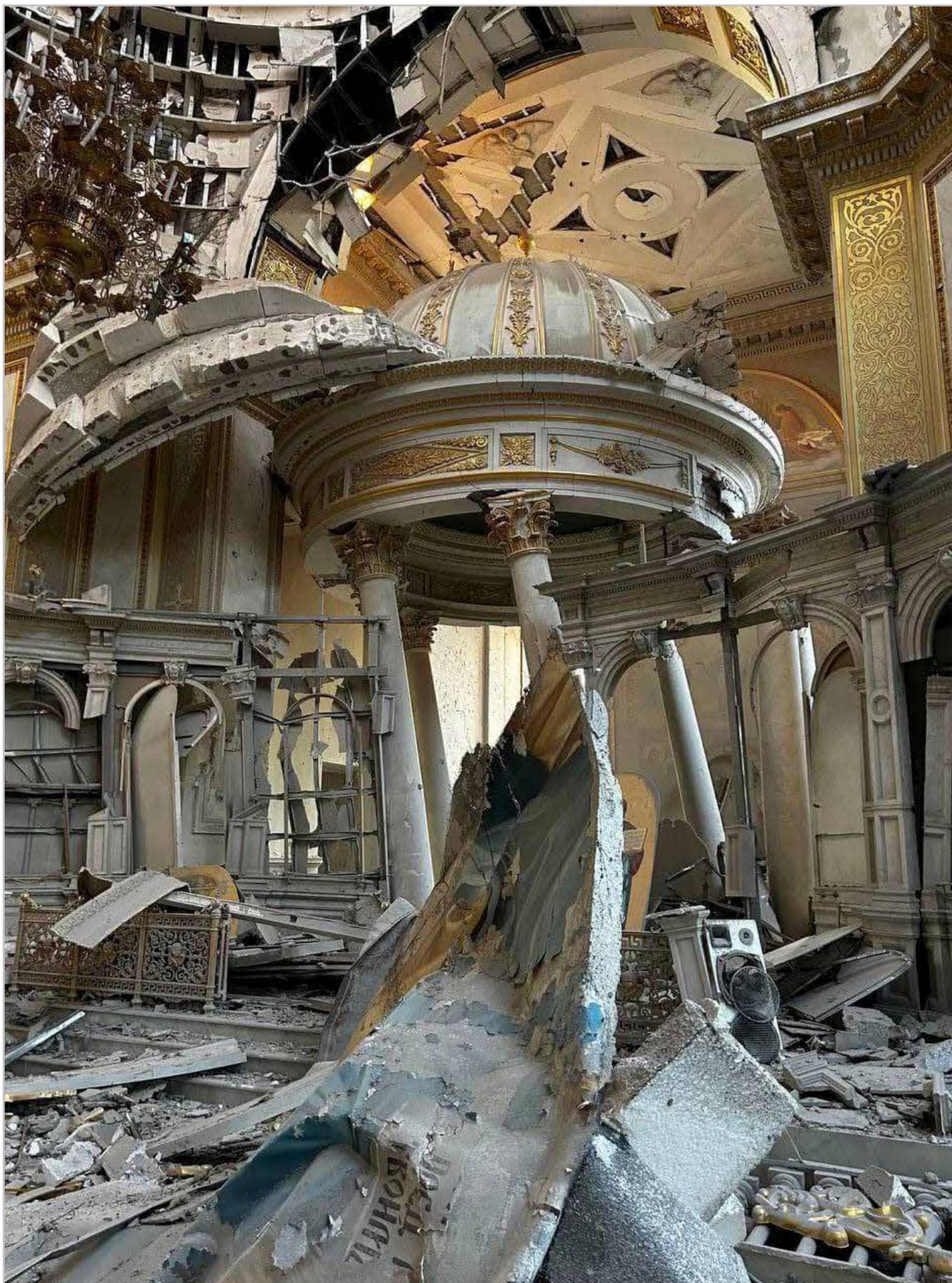
Crimea contaba en el momento de la anexión, según el Registro Estatal de Monumentos de Ucrania, con 86 monumentos de importancia nacional (63 en la República Autónoma de Crimea y 23 en Sebastopol) y 1.112 monumentos de importancia local (1.080 en la República Autónoma de Crimea y 32 en Sebastopol) Además, en Crimea hay un lugar declarado Patrimonio de la Humanidad por la Unesco y 6 lugares que figuran en la lista tentativa de la Unesco. Además de los 35 museos en la República Autónoma de Crimea y 5 en Sebastopol. Según un informe elaborado en 2020 por la Oficina del Representante Permanente del Presidente de Ucrania en la República Autónoma de Crimea (Office..., 2020), a partir de la fecha de anexión se constata que se ha convertido en una práctica habitual organizar exposiciones no autorizadas de piezas de Crimea, o incluso trasladarlas a museos rusos para su conservación, además de realizar regularmente excavaciones arqueológicas no autorizadas, en algunas de las cuales participan representantes de instituciones de investigación rusas. El informe asegura que los monumentos culturales de Crimea están sufriendo daños irreparables debido a las obras de renovación no autorizadas y de baja calidad iniciadas por la administración ocupante rusa, que, en realidad, ocasionan la destrucción del patrimonio cultural. Como ejemplos podemos mencionar las “renovaciones” de los palacios del Khan en Bakhchysarai y de Vorontsov en Alupka.

El Consejo Ejecutivo de la Unesco en un informe de 2021 (212 EX/5.I.E: 4-5) recoge:

“La ocupación rusa de Crimea ha cambiado la percepción del patrimonio histórico y cultural de Ucrania, tanto por parte del Estado como de la sociedad. Rusia se ha apropiado de los bienes culturales ucranianos en la península, incluyendo 4095 monumentos nacionales y locales bajo protección estatal. La apropiación de monumentos es, en sí misma, una violación del derecho internacional. (...)

Rusia aplica esta política de varias maneras para influir en el sector cultural: exporta ilegalmente objetos de arte de la Crimea ocupada, que luego expone en la Federación de Rusia con sus propias narrativas; realiza excavaciones arqueológicas no autorizadas; borra rastros de la presencia cultural de los tártaros de Crimea en la península, al tiempo que convierte su religión en un arma contra sí mismos.”

El informe también se refiere a las malas prácticas referidas tanto a la preservación como a la restauración:



**Figura 3.-** Catedral de Odesa después del ataque de un misil ruso la noche del 23 de julio de 2023. Autor: Ministerio de Asuntos Interiores de Ucrania. Creative Commons

“La Federación de Rusia no cumple sus obligaciones de preservar los sitios del patrimonio cultural en el territorio ocupado temporalmente. Se están llevando a cabo «excavaciones arqueológicas» ilegales en sitios de patrimonio cultural, en contravención de los requisitos del segundo protocolo del Convenio de La Haya para la protección de los bienes culturales en caso de conflicto armado. (...)”

La práctica de la «restauración» de los sitios del patrimonio cultural se está extendiendo activamente en el territorio ocupado temporalmente, y los responsables de dichas obras son organizaciones que no cuentan con las cualificaciones y la experiencia adecuadas.”

Otro aspecto que nos ayuda a configurar el mapa de la vulnerabilidad es la falta de preparación del personal de las instituciones culturales en la actuación en emergencias, así como la falta de preparación o el establecimiento, en el seno de sus fuerzas armadas, de servicios o de personal especializado cuyo objetivo debería ser garantizar el respeto de los bienes culturales y cooperar con las autoridades civiles encargadas de su salvaguarda, tal y como establece en su artículo 7 la Convención de La Haya (1954), de la que tanto Ucrania como Rusia forman parte. Aunque Rusia no haya firmado el Segundo Protocolo, ambas están obligadas a establecer medidas de salvaguarda en tiempos de paz y de respeto en tiempos de guerra en virtud de la Convención.

De la lectura y análisis comparativo de los informes *National report on the implementation of the Hague Convention of 1954 and its two Protocols (1954 and 1999)* de Ucrania, correspondientes a los ciclos cuatrienales 2013-2016 y 2017-2020, se infiere una implementación incompleta de dicha Convención, a pesar de que la puesta en marcha de medidas va en aumento. La falta

de medidas preparatorias, según las directrices del Segundo Protocolo (1999) o las contradicciones en el propio informe en el que a veces se indica que existe una formación militar, siguiendo las directrices de la Convención, pero no del Segundo Protocolo, pueden servirnos de ejemplos de las vulnerabilidades a las que se enfrenta el patrimonio ucraniano en relación con la preparación de medidas de salvaguarda, tal y como puede verse en la Tabla 2 en la que aparece en blanco lo que en el último de los informes se reconoce como no implementado.

Otra de las debilidades, recurrente en varios de los informes estudiados, es la falta de inventarios del patrimonio cultural, lo que impide, en caso de saqueo o pillaje, monitorizar su seguimiento por falta de datos o conocimiento de las piezas en cuestión (Unesco 2022; Ucrania 2013-2016; AA.VV. 2023) y de este modo, como admite Piotrovsky, el sancionado director del Hermitage y una de las personas más relevantes dentro del ámbito de la cultura que respaldan la invasión, a pesar de que la guerra es destructiva, también puede ser una oportunidad para el “intercambio cultural”. (Cascone 2023)

Este “intercambio cultural” al que se refiere cínicamente Piotrovsky no es otro que el saqueo o apropiación ilícita que se produce históricamente en todas las guerras por parte del pueblo invasor y al que Ucrania es vulnerable debido a la falta de un inventario estatal centralizado de las piezas pertenecientes a los museos en Ucrania (Unesco 2022 215, 53). La legislación nacional de Ucrania y el derecho internacional protege al patrimonio cultural situado en el territorio ocupado temporalmente de la península de Crimea, sin embargo, a pesar de la dificultad en establecer un diagnóstico exhaustivo de la situación, en un informe de la Unesco de 2022 se baraja una cifra según la cual por encima de 350.000 piezas de museo procedentes de Crimea habrían sido

Ucrania: Implementación de la CONVENCIÓN de LA HAYA (1954) y sus dos PROTOCOLOS (1954 y 1999)				
UCRANIA	Medidas de salvaguarda en tiempos de paz	Difusión de la Convención y sus Protocolos	Resolución II (Creación de un Comité Consultivo Nacional)	Formación militar en tiempos de paz
Convención de La Haya y su Primer Protocolo (1954)	art. 3	art. 25	sin implementar	art. 7
Segundo Protocolo de la Convención de La Haya (1999)	sin implementar	sin implementar	No aplica	No aplica

**Tabla 2.-** Ucrania: Implementación de la Convención de La Haya y sus dos Protocolos. Elaboración propia a partir del *National report on the implementation of the Hage Convention of 1954 and its two Protocols (1954 and 1999) Ukraine (2017-2020)*.

traspasadas al Catálogo Estatal del Fondo de Museos de la Federación de Rusia.

La situación es particularmente crítica en los sitios arqueológicos, en tanto que al encontrarse en muchas ocasiones en zonas apartadas y con una vigilancia escasa, la falta de documentación multiplica especialmente su vulnerabilidad. Desde la anexión, se han realizado excavaciones arqueológicas sin la aprobación de las autoridades competentes de Ucrania y sin respetar las normas establecidas, que exigen que estas solo se realicen cuando sean necesarias para salvaguardar, registrar o conservar los bienes culturales. La preocupación es tan grande que en el caso de un bien que forma parte de la Lista del Patrimonio Mundial, como es la antigua ciudad del Quersoneso Táurico y sus “chôra”, se invitó al Centro del Patrimonio Mundial a utilizar técnicas de teledetección para recabar información sobre el estado de conservación de este (Unesco 2022,54).

Otra cuestión es la relativa al patrimonio vivo en la medida en que su permanencia es muy vulnerable porque los practicantes y titulares de prácticas inscritas en la Lista Representativa del Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad, como pueden ser *Ornek, un ornamento tártaro de Crimea y el conocimiento sobre el mismo*, se han visto obligados a trasladarse a las regiones de Jersón y Kyiv en 2014, y de nuevo, tras el estallido de la guerra en febrero de 2022 (Unesco 2022, 55).

Pero en el informe sobre la situación en Crimea realizado por la Unesco en 2023 la situación empeora considerablemente y la Unesco acusa a Rusia de militarizar el proceso educativo, al inculcar el culto a la guerra, así como de promover una imagen negativa de Europa, Estados Unidos y Ucrania, a la que presenta como fascista, que, en conjunto, suponen una amenaza para Rusia. Además, se debilita la relación de la población con su propia cultura en tanto que, al recibir principalmente en ruso la educación en los territorios ocupados, se rompen los lazos con Ucrania.

Para finalizar, del análisis del *Plan de Recuperación de Ucrania* (2022) también se pueden deducir algunas vulnerabilidades en la protección del patrimonio, como la falta de un único organismo central responsable de los procesos y resultados de la conservación del patrimonio cultural, lo que provoca incoherencias en las decisiones, o la falta de capacitación profesional de los arquitectos restauradores y de los conservadores restauradores.

## Conclusiones

A lo largo de este artículo se ha intentado identificar cuáles eran, en este desastre de origen antrópico, las

amenazas y cuáles las vulnerabilidades del patrimonio cultural de Ucrania. Para ello, se analizó el contexto político previo al estallido de la guerra y se investigó la situación del patrimonio cultural en los territorios de Crimea, ocupados por Rusia desde 2014. También se ha estudiado cuál era el nivel de implementación de las medidas de protección con el fin de intentar entender la vulnerabilidad del patrimonio. Las evidencias obtenidas han permitido concluir que el riesgo al que está sometido el patrimonio en este conflicto, en el que el agresor se considera con derechos sobre los territorios internacionalmente reconocidos de Ucrania, es muy alto. Lejos de ser un “daño colateral”, el patrimonio cultural constituye un objetivo de ataques directos por motivos ideológicos, cuyos daños deberán estar bien documentados tanto para la fase de recuperación y reconstrucción como para aportar evidencias en caso de que los artífices de la destrucción tengan que rendir cuentas cuando el conflicto finalice. Además, esta amenaza se combina con un patrimonio material e inmaterial vulnerable al no encontrarse implementadas medidas de protección a la altura del contexto de riesgo. Los informes de la Unesco previos al conflicto, en los que se analiza la situación en los territorios ocupados de Crimea en fechas anteriores al estallido, no dejan lugar a dudas sobre la envergadura de la amenaza. Esos informes permitían ya constatar el carácter depredador hacia los bienes culturales de la política desplegada por el Kremlin. Sin embargo, no parece que Ucrania hubiese considerado seriamente la urgente necesidad de implementar medidas preventivas acordes a la gravedad de la situación y en consonancia con las convenciones que ya había suscrito. Los hechos demuestran que las dimensiones de la amenaza se habían subestimado, dada la ausencia de inventarios y de un sistema de catalogación de los bienes culturales, una de las grandes debilidades de su sistema de protección, cuya corrección tendrán que acometer lo antes posible. En la fase de preparación parece inevitable aludir al principio de proporcionalidad, pero también cabe preguntarse si habría sido posible establecer medidas eficaces y reales que hubieran podido reducir la vulnerabilidad del patrimonio ante un enemigo no dispuesto a acatar las reglas del juego, que implican el respeto a los bienes culturales en un conflicto armado, tal y como obliga la Convención de La Haya, y que ambos contendientes han suscrito.

En mi opinión, esta guerra está permitiendo testar en tiempo real las capacidades y el funcionamiento operativo de las instituciones nacionales e internacionales de protección del patrimonio cultural, así como la validez de las medidas proyectadas y de las desplegadas en la respuesta. Debemos tener en cuenta que nos movemos en el entorno de lo que se conoce como “Leyes Proceso”, es decir, alrededor de aquellos convenios internacionales, como la Convención de La Haya y sus dos Protocolos, que establecen acuerdos y normas que los países deben seguir en su interacción

mutua e implementar mediante procedimientos de ámbito nacional. En última instancia, la implementación y el cumplimiento de estos convenios depende enteramente de las acciones y políticas adoptadas por los países firmantes. Y por ello es tan trascendental la coordinación en un marco de trabajo común, en este caso fijado por la Convención de La Haya, las Convenciones de la Unesco y las resoluciones de Naciones Unidas.

## Notas

[1] <https://www.unesco.org/en/articles/damaged-cultural-sites-ukraine-verified-unesco> [consulta 23/02/2024]

[2] <https://www.unesco.org/es/articles/declaracion-de-la-unesco-sobre-los-recientes-acontecimientos-en-ucrania> [consulta 9/02/2024]; <https://icom.museum/es/news/declaracion-sobre-la-invasion-rusa-en-ucrania/> [consulta 9/02/2024]; <https://icomos.es/declaracion-de-icomos-internacional-sobre-la-situacion-en-ucrania/> [consulta 9/02/2024]

[3] [https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics\\_181779.htm#civilians](https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_181779.htm#civilians) [consulta 9/02/2024]

[4] Mijaíl Borísovich Piotrovski, actual director del Museo Hermitage en San Petersburgo y Olga Borisovna Lyubimova, Ministra de Cultura de la Federación Rusa, han sido sancionados por el gobierno canadiense <https://gazette.gc.ca/rp-pr/p2/2023/2023-08-02/html/sor-dors162-eng.html> (19/07/2023). Olga Borisovna Lyubimova, también ha sido sancionada por Estados Unidos (24/02/2023) <https://ofac.treasury.gov/recent-actions/20230224> y por la Unión Europea (16/12/2022) entre otras razones por estar implicada indirectamente en la destrucción y por la falta de esfuerzos para proteger el patrimonio cultural ucraniano en los territorios anexionados ilegalmente. En esta situación también se encuentra Sergey Sergeyevich Kravtsov, Ministro de Educación de la Federación Rusa porque bajo su responsabilidad, entre otras cosas, el Ministerio pretende integrar el sistema educativo de las regiones de Ucrania anexionadas ilegalmente en un único espacio educativo ruso y contribuir a borrar los elementos ucranianos del plan de estudios. *Reglamento de ejecución (UE) 2022/2476 del Consejo de 16 de diciembre de 2022 por el que se aplica el Reglamento (UE) n° 269/2014 relativo a la adopción de medidas restrictivas respecto de acciones que menoscaban o amenazan la integridad territorial, la soberanía y la independencia de Ucrania* (1323 y 1324). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R2476> [consulta 18/02/2024]

## Referencias

AA.VV. (2023). Protecting cultural heritage from armed conflicts in Ukraine and beyond [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL\\_STU\(2023\)733120](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL_STU(2023)733120) [consulta 22/01/2024]

AA.VV. (2022). *Treasures of Ukraine*, London: Thames & Hudson (prólogo de Andrey Kurkov)

APT, C. (2022). "Russia's Eliminationist Rhetoric against Ukraine: A Collection," actualizado a 11 de enero de 2024, [justsecurity.org/81789/russias-eliminationist-rhetoric-against-ukraine-a-collection/](https://justsecurity.org/81789/russias-eliminationist-rhetoric-against-ukraine-a-collection/) [consulta 9/02/2024]

CARDONA, O. D. (2004). "The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective: A Necessary Review and Criticism for Effective Risk Management" en *Mapping Vulnerability. Disasters, Development & People*, Bankoff, G., Frerks, G. Hilhorst, D. (eds.). London: Earthscan, 37-51

CONVENCIÓN DE LA HAYA (1954). Primer Protocolo (1954) y Segundo Protocolo (1999). 2017 *National report on the implementation of the Hague Convention of 1954 and its two Protocols (1954 and 1999) Ukraine (2013-2016)* [https://en.unesco.org/sites/default/files/Ukraine\\_02.pdf](https://en.unesco.org/sites/default/files/Ukraine_02.pdf) [consulta 20/02/2024]

CONCEPTO DE POLÍTICA EXTERIOR DE LA FEDERACIÓN RUSA (2023). Aprobado el 31 de marzo de 2023. [https://mid.ru/en/foreign\\_policy/fundamental\\_documents/1860586/?lang=es](https://mid.ru/en/foreign_policy/fundamental_documents/1860586/?lang=es) [consulta 20/02/2024]

ESTRATEGIA DE SEGURIDAD NACIONAL DE ESPAÑA (2021.) <https://www.boe.es/boe/dias/2021/12/31/pdfs/BOE-A-2021-21884.pdf> [consulta 20/02/2024]

GÜLER, M. Ç. y SHAKIROVA A., (2021). "Deciphering Russia's 2021 National Security Strategy Document" en *Seta perspective*, 67. <https://www.setav.org/en/perspective-deciphering-russias-2021-national-security-strategy-document/> [consulta 10/01/2024]

HARDING, L. & SHERWOOD, H. (2022). "Ukrainians in race to save cultural heritage", *The Guardian*, 9 de marzo de 2022 <https://www.theguardian.com/world/2022/mar/09/ukrainians-in-race-to-save-a-nations-cultural-heritage> [consulta 23/01/2024]

LUCK, E. C. (2018). *Cultural Genocide and the Protection of Cultural Heritage*, Los Angeles: J. Paul Getty Trust [https://www.getty.edu/publications/pdfs/CulturalGenocide\\_Luck.pdf](https://www.getty.edu/publications/pdfs/CulturalGenocide_Luck.pdf)

MARSON, J. (2009). "Putin to the West: Hands off Ukraine" *TIME*, May 25, <https://content.time.com/time/world/article/0,8599,1900838,00.html> [consulta 26/01/2024]

NACIONES UNIDAS (2009). Diccionario de Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres [https://www.unisdr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologySpanish.pdf](https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf) [consulta 26/01/2024]

NACIONES UNIDAS (2014). Resolución de la Asamblea General 68/262, 27/03/2014. Integridad territorial de Ucrania. <https://digitallibrary.un.org/record/767883?ln=es> [consulta 23/01/2024]

PLAN DE RECUPERACIÓN DE UCRANIA (2022). <https://www.urc-international.com/urc2022-recovery-plan> [consulta 20/01/2024]

NATIONAL SECURITY STRATEGY (2022). United States of America <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/10/Biden-Harris-Administrations-National-Security-Strategy-10.2022.pdf> [consulta 23/01/2024]

OTAN (2022). Strategic Concept [https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics\\_210907.htm](https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_210907.htm) [consulta 7/02/2024]

PUTIN, V. (2021) "On the Historical Unity of Russians and Ukrainians" <http://en.kremlin.ru/events/president/news/66181> [consulta 26/01/2024]

ROSÉN, F. (2022). *NATO and Cultural Property: A Hybrid Threat Perspective*. Nordic Center for Cultural Heritage and Armed Conflict (CHAC) <https://www.heritageconflict.org/blog/2022/3/2/nato-and-cpp-a-hybrid-threat-perspective> [consulta 26/01/2024]

SANDS, P. (2016). *Calle Este-Oeste*, Barcelona: Anagrama

SERGEYTSSEV, T. (2022). "What should Russia do with Ukraine?" [Translation of a propaganda article by a Russian publication] [https://medium.com/@kravchenko\\_mm/what-should-russia-do-with-ukraine-translation-of-a-propaganda-article-by-a-russian-journalist-a3e92e3cb64](https://medium.com/@kravchenko_mm/what-should-russia-do-with-ukraine-translation-of-a-propaganda-article-by-a-russian-journalist-a3e92e3cb64) [consulta 22/01/2024]

UNESCO (2021) 212 *Reunión del Consejo Ejecutivo Consejo Ejecutivo de la Unesco* (6-20 octubre, 2021) 212 EX/5.I.E [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379585\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379585_spa) [consulta 07/01/2024]

UNESCO (2021) National report on the implementation of the Hague Convention of 1954 and its two Protocols (1954 and 1999) Ukraine (2017-2020) <https://en.unesco.org/sites/default/files/nr-ukraine-2017-2020.pdf> [consulta 20/02/2024]

UNESCO (2022) 215 *Reunión del Consejo Ejecutivo (5-19 de octubre de 2022) Seguimiento de la situación en la República Autónoma de Crimea (Ucrania)*, 215 EX/5.I.E [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000382685\\_spa?posInSet=8&queryId=8490206b-b3cb-41e7-8e15-0969b78c4cd5](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000382685_spa?posInSet=8&queryId=8490206b-b3cb-41e7-8e15-0969b78c4cd5) [consulta 14/02/2024]

UNESCO (2023) 216 *Reunión del Consejo Ejecutivo (10-24 de mayo de 2023) Informe sobre las actividades y el programa de asistencia de emergencia de la UNESCO para Ucrania*. [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385115\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385115_spa) [consulta 22/01/2024]

UNIÓN EUROPEA(2022). *Reglamento de ejecución (UE) 2022/2476 del Consejo de 16 de diciembre de 2022 por el que se aplica el Reglamento (UE) nº 269/2014 relativo a la adopción de medidas restrictivas respecto de acciones que menoscaban o amenazan la integridad territorial, la soberanía y la independencia de Ucrania* (1323 y 1324). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R2476> [consulta 20/01/2024]

## Autor/es



### Pilar Montero Vilar

[pilarmontero@ucm.es](mailto:pilarmontero@ucm.es)

Dpto. de Pintura y Conservación - Restauración · Facultad de Bellas Artes. UCM  
<https://orcid.org/0000-0003-0685-7032>

Pilar Montero Vilar es profesora titular en el departamento de Pintura y Conservación-Restauración de la facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid. Es doctora en Bellas Artes (2000), Máster en Estética y Teoría de las Artes (Universidad Autónoma de Madrid, 1993) y Máster en Gestión de Desastres (Universidad Politécnica de Madrid y Universidad Complutense, 2023). Además, ha completado su formación específica y práctica en gestión de desastres al ser seleccionada como personal civil para participar en el curso de Gestión de Catástrofes impartido en la Escuela Militar de la Unidad Militar de Emergencias (UME) del ejército de España (2021), como miembro del equipo del proyecto OPHERA financiado por Europa Creativa <https://ophera.beniculturali.it/en/1/home> o participado en cursos internacionales como Salvage and Emergency Planning Course para salvamento de patrimonio cultural organizado por Historic England (2019). Ha sido investigadora principal en varios proyectos de investigación financiados por la Agencia Estatal de Investigación, el Ministerio de Defensa, entre otros. Actualmente dirige el Grupo de Investigación de Gestión de Riesgos y Emergencias en Patrimonio Cultural (GREPAC) de la Universidad Complutense <https://www.ucm.es/grepac/> y desde 2020 es la investigadora principal del Observatorio de emergencias en patrimonio cultural [www.oepac.es](http://www.oepac.es). Desde 2014 se encuentra vinculada profesionalmente con el diseño e implementación del Plan de Protección de Colecciones ante Emergencias del Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía (Plan PROCOERS), entidad con la que ha suscrito varios contratos de asesoría e investigación. En 2018 fue nombrada miembro asesora del Ministerio de Cultura y Deportes para el Grupo de Trabajo para la implantación de los Planes de Salvaguarda de Bienes en Instituciones Culturales y desde 2022 forma parte de la comisión de seguimiento del Plan Nacional en Gestión de Riesgos y Emergencias de Patrimonio Cultural del Ministerio de Cultura.

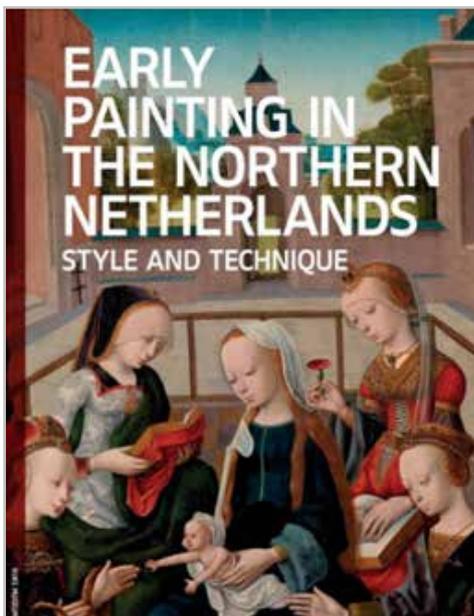
Artículo enviado 23/02/2024  
Artículo aceptado el 24/04/2024



<https://doi.org/10.37558/gec.v24i1.1301>

## *Reseñas*

---



### **Early painting in the Northern Netherland. Style and technique**

Arie Wallert

Archetype Publications Ltd-Rijks Museum  
London-Amsterdam 2022

ISBN: 978-1-90942-86-8  
Dimensiones: 29,7x21 cm  
Páginas:164  
Idioma: inglés

*“Early painting in the Northern Netherland. Style and technique (La pintura temprana en el norte de los Países Bajos. Estilo y técnica)”* de Arie Wallert contiene los resultados de las investigaciones realizadas por el autor y otros científicos, conservadores e historiadores del arte sobre los materiales y técnicas de los Primitivos de los Países Bajos del Norte albergados en la colección del Rijks Museum de Ámsterdam.

Con motivo a la exposición realizada en el año 2009 en el Rijks Museum se elaboró un extenso programa de investigación de 14 pinturas medievales del Norte de los Países Bajos, fechadas desde finales del siglo XIV, hasta principios del XVI. El objetivo de este volumen publicado por Archetype Publications en asociación con el Rijks Museum es difundir los resultados obtenidos al examinar materiales utilizados, procedencia, métodos de preparación y aplicación.

La investigación emprendida sobre *“El impacto del óleo”* pretendía responder a cuestiones que van adquiriendo cada vez mayor relevancia sobre la naturaleza material de la obra de arte, el esfuerzo de los pintores medievales por innovar en la manufactura, preparación y aplicación de los materiales definen la *“técnica de ejecución”* y su íntima relación con la *“manera”* y el *“estilo”* del artista.

Los estudios experimentales incluyeron distintas técnicas microscópicas cromatográficas, espectroscópicas, imágenes multispectrales, reflectografías IR y radiografías X. El estudio fisicoquímico de las pinturas ha facilitado además su conservación, la eliminación de los repintes y de los barnices envejecidos.

La información obtenida se combinó con la documentación extraída de los textos y tratados medievales y las

descripciones sobre los soportes, fondos, dibujos, pigmentos, aceites, diluyentes, etc. Algunos contratos para la ejecución de retablos estipulaban las figuras representadas y su iconografía. Otras veces el pintor hacía un primer dibujo que debía ser aprobado antes de formalizar la demanda. Hay tratados medievales que mencionan recetas, listas de ingredientes y notas abreviadas para el uso de algún pigmento aunque, desafortunadamente, las fuentes contemporáneas en esta región son muy escasas. Por suerte, en las imágenes de los estudios de los pintores se ven paletas, caballetes, piedras de moler, lápices para dibujar y cuencos de pigmentos. El catálogo razonado del museo incluye distintos datos historiográficos sobre la investigación realizada.

Las pinturas seleccionadas han sido observadas cuidadosamente de un modo comparativo a través de un trabajo interdisciplinar realizado por un equipo de conservadores, científicos e historiadores del arte. Se han examinado el soporte, el dibujo subyacente y la construcción de las capas pictóricas en el contexto de las fuentes documentales existentes.

Los objetos estudiados se encargaban porque tenían originalmente una función que no era puramente estética. Las obras de pequeñas dimensiones, generalmente dípticos, trípticos servían a la devoción privada, como documento matrimonial o para honrar la memoria de un personaje recientemente fallecido. Los trípticos se demandaban para su uso en ceremonias religiosas en altares de conventos o iglesias parroquiales. Numerosas pinturas y esculturas policromadas, consideradas hoy como objetos individuales, formaban parte obras de mayores dimensiones, dípticos, trípticos o retablos de altar.

A continuación de los primeros capítulos introductorios el libro dedica un apartado a cada una de las catorce obras investigadas en orden cronológico. Las primeras son anónimas y las últimas suelen estar asignadas a un autor conocido. Destaca la variedad de soportes y técnicas pictóricas utilizadas, probando los intensos esfuerzos de los autores medievales por indagar sobre la aplicación de los materiales.

*El Calvario de Hendrik van Run* (anónimo de 1363) es una tabla con profusión de dorados en el marco y el fondo, este último se ha decorado con relevos repetitivos de forma cuadrada. *La tabla votiva del señor de Monforte* (anónimo. 1380-1400) construidas sobre roble del Báltico, con preparación de creta y amplias zonas doradas en los nimbos y las estrellas del fondo y plateadas en las armaduras de los caballeros. *El retrato de Lysbeth van Duverwoorde* (anónimo c. 1430) se encargó con motivo a su matrimonio. Es una pintura al óleo sobre pergamino, habiéndose identificado cola de caseína sobre el soporte y "óleum preciosum" en las veladuras.

*Las Dieciocho escenas de la vida de Cristo de Roermond* (escuela de Gelre, c. 1435) están hechas al temple sobre tela, agrupadas en tres líneas de seis; La idea es distinta que la de un verdadero "Tüchlein", por tener una fina preparación de creta y estar protegidas por un panel en el reverso. *El Tríptico de la Crucifixión, con la Misa de san Gregorio y san Cristóbal de Hillebardt van Rewijk* c. 1460) conserva su marco original y probablemente fue encargado para la devoción privada. Sigue la técnica de "incidere" en los tonos oscuros, "matizare" en los claros y oro en escamas sobre mordiente acuoso.

*Geertruy Haeck-Van Slingelandt rezando a santa Inés* (anónimo c. 1460-0) es una pintura sobre tabla de roble, cortado en su parte lateral izquierda, donde posiblemente estuviera representado el marido. El tejido del paño de honor del fondo se ha imitado con la técnica del brocado aplicado. El verdigrís sido diluido en aceite de linaza, formando carboxilatos.

*La Adoración de los Magos* (grupo Geertgen c.1475) está construido con paneles verticales y conserva las dimensiones originales. La preparación es de creta y el dibujo subyacente muestra notables diferencias entre las figuras centrales y el paisaje. En el manto de Melchor el artista hace los drapeados con pinceladas yuxtapuestas rojas y azules en y aplica trazos blancos cortos para imitar la seda. El árbol de Jesé (grupo Geertgen c.1490) representa a Isaías en la base y a la Virgen con el Niño en la parte superior y podría pertenecer al convento de María Magdalena de Haarlem. La preparación es de creta, y se observa notables cambios en el dibujo subyacente de la figura de la monja donante. Los brocados se imitan con trazos pintados de amarillo de plomo y estaño, bermellón y negro- La laca roja granza está fijada sobre alumbre potásico y las joyas doradas se han hecho con pan de oro al mordiente.

*La Virgen con Niño y santas Catalina, Cecilia, Bárbara y Úrsula* (maestro de las once mil Vírgenes de Delft. 1495-1500) está compuesto por cuatro tablas sin una imprimación intermedia. La maestría en el uso de las propiedades de los colores se demuestra en el modo en que los rojos finalizan con veladuras transparentes puras, el verdigrís va disuelto en aceite de linaza y el color púrpura superficial se obtiene partiendo de un azul de base de azurita, cubierto por una veladura de laca roja.

En la pintura que representa *Cuatro canónigos con un sarcófago abierto, san Agustín, san Jerónimo y La Visitación* (maestro Spes Nostra, posterior a 1508) cuando fue adquirida por el museo el cuerpo del fallecido estaba recubierto por un ropaje blanco y una mitra. Tiene un soporte de roble, una preparación de creta, un dibujo subyacente a pincel muy detallado y una delgada imprimación. El modelado de las figuras y los hábitos de los monjes se logra añadiendo blanco o negro al color.

*El Tríptico de la Virgen con Niño y santos* (puertas laterales del maestro de Delft y panel central del maestro de Amberes, c. 1500-10) con La Anunciación en el reverso de las puertas, fue encargado para la devoción privada en localidades diferentes. La preparación es de creta y tiene una fina "imprimatura" en las puertas pero no en la escena central, con diferencias también apreciables en el dibujo subyacente. La superposición de capas menos convencional y más compleja en el panel flamenco.

Las dos escenas de *Cristo levantando a su madre y Cristo visitando la casa de Marta y María* (Cornelis Engebreschtsz, c. 1515-20) eran probablemente las puertas de un tríptico o dos tablas de una serie dedicada a la vida de la Virgen. La imprimación es local y en el paisaje se pintó primero el cielo y de cubrió posteriormente con el follaje. El brocado de la tela de damasco de María Magdalena se elaboró a pincel con laca roja, bermellón, albayalde y azurita, siguiendo un patrón repetido en diversas posiciones

Las tres escenas del *Tríptico de La Última Cena, san Juan y María Magdalena con los donantes* (Jacob Cornelisz van Oostanen, c. 1525-30) fué pintado en el reverso de un soporte de vidrio, protegido por paneles de roble, encargado para un convento cisterciense. La mesa de la Cena es redonda. El pintor trazó primero los detalles de la imagen en espejo, aglutinados con goma arábiga y calentados a una temperatura inferior a 6000C, para cubrirlos, ya en frío, con colores al óleo y finalizar con la preparación y los panes de oro y de plata. *El milagro de la Hostia Consagrada* (Jacob Cornelisz van Oostanen, c. 1515) es un temple de cola sobre lienzo de lino del que se conservan varios fragmentos, pero que inicialmente era un estandarte sujeto a dos palos de madera en forma de T. Pertenece al tipo de pinturas al temple, sin preparación, denominadas "Tüchlein".

Este libro ricamente ilustrado ofrece una comprensión clara de las habilidades perdidas, los materiales olvidados

y los secretos técnicos de la pintura medieval de los Países Bajos del Norte, menos divulgada hasta ahora que la los Primitivos Flamencos estudiados en la National Gallery de Londres y en el Instituto Real del Patrimonio Artístico de Bruselas (KIKIRPA). La información que ofrece adentra a los aficionados y especialistas en Historia del Arte, Científicos y Conservadores-Restauradores en un mundo muy diferente al actual, contribuyendo a que los materiales y métodos del pasado tardomedieval sean menos extraños para todos.

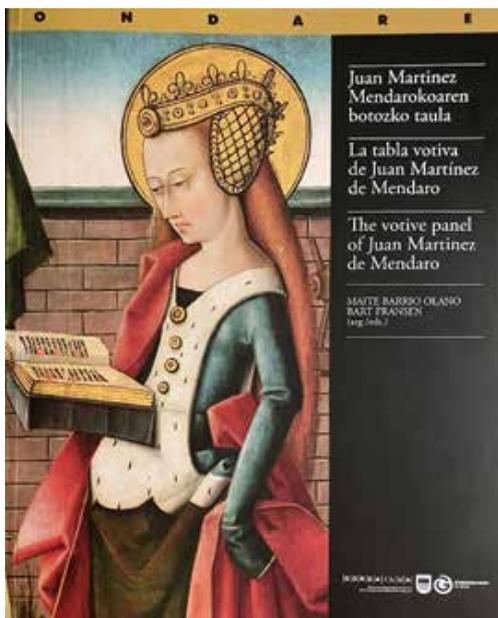
**Marisa Gómez González**

Emérita del Instituto del Patrimonio Cultural de España

---



<https://doi.org/10.37558/gec.v25i1.1317>



### **La tabla votiva de Juan Martínez de Mendaro. Estudio e intervención de una pintura del XV (Zumaia)**

Maite Barrio Olano y Bart Franssen

Gordailua (Centro de Colecciones Patrimoniales de la Diputación Foral de Guipúzcoa)  
Donostia / San Sebastián 2023

ISBN: 978-84-7907-862-1

Dimensiones: 29 x 23 cm

Páginas: 254

Idiomas: euskera, castellano e inglés

El libro de La tabla votiva de la parroquia de Zumaia, dedicada a la batalla naval en la que falleció Juan Martínez de Mendaro, está escrito en paralelo en euskera y castellano. Incluye además la traducción completa al inglés, en las páginas finales, ampliando así su difusión al ámbito internacional. La edición ha sido coordinada por Maite Barrio Olano y Bart Franssen, que intervienen con otros autores en distintos capítulos. El volumen ofrece una visión compleja y bien cuidada sobre el estudio e intervención de la obra, dirigida a los aficionados y especialistas en conservación-restauración e historia del arte.

Los distintos capítulos tienen una introducción que facilita la comprensión a los que no son especialistas en la materia, para informar en profundidad sobre los distintos aspectos de la pintura, fechada a finales del siglo XV y procedente de los Países Bajos.

El libro comienza con un enfoque histórico en el que menciona la introducción de la pintura flamenca en Guipúzcoa y la atribución de la tabla en el entorno del maestro bruselés de santa Godeliva, discípulo de Memling. La obra se divide en dos partes, la escena superior es religiosa y representa una Virgen con Niño entronizada, con san Pedro y Juan Martínez de Mendaro a su derecha y santa Catalina y Majencio a la izquierda. El motivo de la parte inferior es muy original por ser la primera representación pictórica de una batalla naval, entre portugueses y españoles de la guerra de sucesión castellana en la que falleció Juan Martínez de Mendaro.

Los apartados siguientes se refieren a los materiales y las técnicas de construcción del soporte y la ejecución de la pintura. Los estudios técnicos se basan en la reflectografía

de infrarrojos, radiografía, dendrocronología, microscopía óptica y electrónica, espectroscopías y cromatografía. El marco y el soporte son de madera de roble del Báltico. El aparejo de la pintura es de creta, la imprimación es oleosa y no cubre la totalidad de la superficie, excluyendo en especial los campos dorados. El dibujo subyacente es muy sencillo y en las capas pictóricas se reservan cada área de color, exceptuando los detalles de menor tamaño. Los distintos colores del cielo, vegetación, barcos, carnes y ropajes de las figuras se han logrado partiendo de un estrato de fondo y escasas capas superpuestas como corresponde a una pintura flamenca de finales del siglo XV. La amplitud y relevancia del dorado a la sisa le hacen merecedor de un capítulo en el que se detallan diferentes asientos y amalgamas de oro, con pequeñas cantidades de plata y cobre. Finalmente, se define la composición y extensión de un barniz antiguo, que se considera original.

La intervención de conservación de la tabla fue la que dio pie a los estudios históricos y técnicos mencionados, incrementando la documentación sobre la historia material y las restauraciones anteriores. Una antigua limpieza excesiva obligó a extender un estrato pardo sobre el cielo. En 1965 se eliminaron elementos originales el reverso, del soporte se alisó y se añadieron incrustaciones de madera para reforzar la unión de los paneles, se estrechó el marco y se barnizó con acetato de polivinilo. Un tratamiento más reciente se reconoce por un barnizado final con resina de dammar.

Antes de comenzar la intervención se observaba un ataque biológico superficial, pérdidas de la preparación, desgastes en la capa pictórica y en el barniz parcial, alteraciones del color en los verdes y en el violáceo inicial del manto

de Majencio, retoques y repintes parciales. La limpieza y eliminación de repintes se realizó con disolventes y geles, tanto en los paneles como en el marco, donde se emplearon además geles rígidos. La fijación de las capas pictóricas se efectuó con espátula caliente y cola de esturión. Se subsanaron las pérdidas de la capa pictórica reintegrándose con pigmentos al barniz Gomblin. El barnizado final se hizo con Laropal.

Las distintas visiones que articulan este volumen tratan de responder a las cuestiones planteadas y a los aspectos esenciales a considerar en La tabla votiva de Juan Martínez de Mendaro, teniendo en cuenta que la información historiográfica es siempre incompleta. Las herramientas utilizadas en el estudio técnico confirman la procedencia flamenca de la obra y sirven de apoyo a la intervención realizada, cuyos procedimientos se detallan en el último apartado.

**Marisa Gómez González**

Emérita del Instituto del Patrimonio Cultural de España

---



<https://doi.org/10.37558/gec.v24i1.1318>

[www.revista@ge-iic.com](mailto:www.revista@ge-iic.com)



Edición digital del GEIIC