

Ge-conservación

Conservação | Conservation



Dirección Editorial:	Emma García Alonso
Consejo de Redacción:	Dora Arízaga Guzmán, Ana Bailão, Maite Barrio Olano, Rocío Bruquetas Galán, Pilar Fernández Colón, Rafael Fort González, Laura Fuster López, Silvia García Fernández-Villa, Marisa Gómez González, Ana Laborde Marqueze, Marta Manso, Alfonso Muñoz Cosme, Milagros Palma Crespo
Secretaría de Edición:	M ^a Concepción de Frutos Sanz
Maquetación:	M ^a Concepción de Frutos Sanz
Traducción portugués:	Ana Bailão
Imagen portada:	<i>Proceso de excavación de los restos fósiles del esqueleto articulado de un titanosaurio (Ejemplar HUE-EC-03) en el yacimiento de Lo Hueco. Fotografía de FGBE-UNED (Grupo de Biología Evolutiva de la Universidad Nacional de Educación a Distancia).</i>

ISSN: 1989-8568



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

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

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

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



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

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

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

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

Ge-conservación
Conservação|Conservation

www.revista.ge-iic.com

E-mail: revista@ge-iic.org

www.ge-iic.com

E-mail: secretaria@ge-iic.org

Revista indexada en:



Índice

Artículos	Páginas
Caracterización de las amenazas derivadas del cambio climático e identificación de los impactos en sitios arqueológicos Elena García Martínez, Marta Plaza Beltrán	6
Proteger el patrimonio científico instrumental: el debate de la funcionalidad y el uso frente a la conservación. Herramientas para su preservación, recuperación y difusión Laura Díaz Moreno	16
Hacia una mejor comprensión del foxing en el papel: precursores, fuentes y características Daniela Silvana Nitui, Andrea Cecilia Mallo, Mario Carlos Nazareno Saparrat	24
En busca del patrimonio cultural inmueble contemporáneo. Análisis comparativo de la accesibilidad y visibilidad de los Sistemas de Información del Patrimonio Cultural Inmueble en España Mar Loren-Méndez, Roberto F Alonso-Jiménez, Patricia Ferreira-Lopes, Daniel Pinzón-Ayala	36
Gestión, evaluación de las necesidades de conservación y jerarquización de una colección mediante su inventario Fátima Marcos Fernández, Santiago Martín de Jesús, Pedro Mocho, Adrián Páramo Blázquez, Marta Plaza Beltrán, Francisco Ortega	48
Documentación del estado actual del Templo de Nuestra Señora de la Candelaria: implementación de fotogrametría como una técnica auxiliar. Edén Vizcaino, Miguel Angel Soto-Zamora, Alejandro Acosta-Collazo, Rubén Alfonso López-Doncel	60

Artículos

Caracterización de las amenazas derivadas del cambio climático e identificación de los impactos en sitios arqueológicos

Elena García Martínez, Marta Plaza Beltrán

Resumen: En sus etapas iniciales, la conservación de los sitios arqueológicos tuvo un carácter reactivo, en la que las intervenciones estaban encaminadas a paliar daños producidos por diferentes causas y a devolverlos a su estado más próximo al original. Más adelante, gracias a la incorporación de la disciplina en conservación preventiva, las intervenciones van precedidas de una identificación de los impactos producidos y consisten en unas medidas que, con carácter proactivo, tienen como objetivo paliar futuros deterioros. Las amenazas derivadas de cambio climático suponen un reto en el que, en primer lugar, tenemos que adelantarnos a la identificación de los impactos con ayuda de proyecciones; en segundo lugar, es necesario el estudio de vulnerabilidades desconocidas y, por último, implantar medidas adaptativas para afrontar esta nueva situación.

Este artículo contempla la primera fase, con una revisión de los estudios realizados hasta el momento que relacionan las amenazas derivadas del cambio climático y los impactos producidos en los sitios arqueológicos.

Palabras clave: amenaza, exposición, índice climático, impacto

Characterization of threats arising from climate change and identification of impacts on archaeological sites

Abstract: In initial stages, the conservation of archaeological sites had a reactive nature, in which interventions were aimed at alleviating damage caused by different causes and returning them to their state closest to the original. Later, thanks to the incorporation of the discipline in preventive conservation, the interventions are preceded by an identification of the impacts produced and consist of measures that, proactively, aim to alleviate future deterioration. The threats derived from climate change represent a challenge in which, first of all, we have to anticipate the identification of the impacts with the help of projections; Secondly, it is necessary to study unknown vulnerabilities and finally, implement adaptive measures to face this new situation.

This article contemplates the first phase, with a review of the studies carried out that relate to the threats derived from climate change and the impacts identified on archaeological sites.

Keywords: threat, exposure, climate index, impact

Caracterização das ameaças derivadas das alterações climáticas e identificação dos impactos em sítios arqueológicos

Resumo: Nas suas fases iniciais, a conservação de sítios arqueológicos tinha um carácter reativo, em que as intervenções procuravam mitigar danos causados por diferentes fatores e devolver os sítios ao estado mais próximo do original. Posteriormente, com a introdução da conservação preventiva, as intervenções passaram a ser precedidas pela identificação dos impactos e consistem em medidas proativas destinadas a prevenir futuros danos. As ameaças decorrentes das alterações climáticas representam um desafio que exige, em primeiro lugar, a antecipação na identificação dos impactos com o auxílio de projeções; em segundo lugar, o estudo de vulnerabilidades ainda desconhecidas; e, por fim, a implementação de medidas adaptativas para enfrentar esta nova realidade.

Este artigo contempla a primeira fase, apresentando uma revisão dos estudos realizados até ao momento que relacionam as ameaças associadas às alterações climáticas com os impactos nos sítios arqueológicos.

Palavras-chave: ameaça, exposição, índice climático, impacto

Introducción

Independientemente de los esfuerzos que se realicen reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero, las consecuencias derivadas del cambio climático ya las estamos viviendo y sus impactos, a corto y medio plazo, son ya inevitables.

La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET en adelante) en su resumen anual correspondiente al año 2023 en España, concluye que ese año ha sido extremadamente cálido, con una temperatura media de 15,2 °C, valor que queda 1,3 °C por encima de la media de esta estación (periodo de referencia 1991-2020). Los nueve años más cálidos de la serie pertenecen al siglo XXI. En cuanto a precipitaciones, ha sido en su conjunto muy seco, con un valor de precipitación media 536,6 mm, valor que representa el 84 % del valor normal en el periodo de referencia 1991-2020. Se ha tratado del sexto año más seco desde el comienzo de la serie en 1961, y el cuarto del siglo XXI, (AEMET 2023).

En cuanto a la subida del nivel del mar, según las últimas investigaciones, creció a un ritmo de 1,6 mm. por año desde 1948 hasta 2019 mientras que, desde ese año, la velocidad a la que se incrementa dicho nivel es de 2,8 milímetros. Este ascenso se debe, por un lado, al calentamiento de las aguas que produce su expansión térmica con el consiguiente aumento de volumen y, por otro, al incremento de la masa de agua, debido al drástico deshielo de Groenlandia y la Antártida. (Greenpeace 2024).

La situación en el Mediterráneo es especialmente grave debido al fenómeno de subsidencia (el lento hundimiento

del suelo debido a causas naturales o antropogénicas) que provoca que en algunas zonas el nivel del mar esté aumentando casi tres veces más rápido que en las zonas estables de costa (Marcos 2021; Vecchio *et al.* 2023)

La sinergia de los efectos del cambio climático afecta a todos los aspectos de nuestra vida, cómo nos movemos, nos calentamos o qué comemos, así como al patrimonio cultural. En la actualidad, cualquier programa o plan de gestión en patrimonio cultural sería poco riguroso si no tuviera en cuenta las estrategias que permitirán la sostenibilidad de sus intervenciones, así como la adaptación a los efectos del cambio climático en sus proyectos.

El objetivo de este artículo es llevar a cabo una revisión de los estudios realizados hasta el momento que relacionan las amenazas derivadas del cambio climático y los impactos producidos en sitios arqueológicos.

A continuación, se propone un flujo de trabajo a seguir en cuanto a la conservación de yacimientos arqueológicos ante las amenazas derivadas del cambio climático, objetivo último de la investigación, donde se resaltan, en línea continua, las etapas que describimos en el presente artículo.

Según el esquema propuesto en la Figura 1, la secuencia sería, en primer lugar, determinar gracias a los visores climáticos cuales pueden ser las amenazas susceptibles de impactar en el yacimiento, y realizar un seguimiento gracias a los índices climáticos. Una vez identificadas las amenazas es fundamental estudiar las vulnerabilidades del yacimiento. Un claro ejemplo de lo anterior sería corroborar, cuando la ubicación del mismo es en un

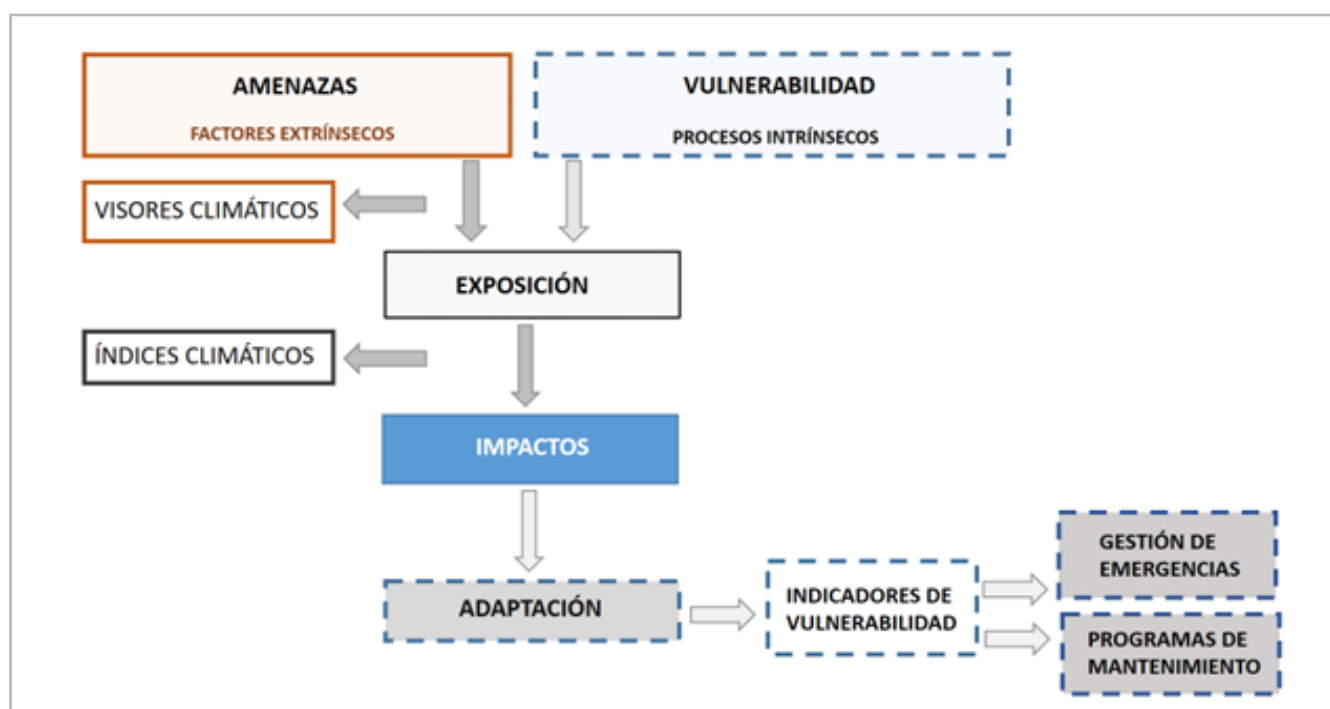


Figura 1.- Esquema de los componentes que intervienen en la interacción, cambio climático y patrimonio cultural. Fuente: Autoras.

enclave costero, si la altura pronosticada del nivel de mar en una marea meteorológica puede impactar y en qué medida, analizando los recorridos de entrada del agua y, por último, implantar las medidas adaptativas necesarias.

Estado de la cuestión

Respecto de los apartados del esquema anterior a continuación describimos los principales conceptos y experiencias que se han llevado a cabo en el ámbito que nos ocupa.

—Caracterización de las amenazas derivadas del cambio climático

En primer lugar, para entender los procesos, mecanismos y futuros escenarios en el contexto de cambio climático, recomendamos la publicación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas titulada *“Global Change Impacts”* ya que desde estas líneas se alejaría del objetivo que nos ocupa (García y Jordano 2021).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC en adelante) define el término Amenaza como la posibilidad de que se produzca un acontecimiento o un evento físico, inducido por la naturaleza o por el hombre, que pueda causar la pérdida de vidas humanas, lesiones u otras repercusiones en la salud, así como daños y pérdidas en los bienes, las infraestructuras, los medios de subsistencia, la prestación de servicios, los ecosistemas y el medio ambiente. (IPCC 2022a).

La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR), que coordina los esfuerzos para la reducción de desastres, dentro de la aplicación del Marco de Sendai ha publicado un informe técnico con una guía descriptiva de 302 amenazas, desarrollado mediante un proceso de consulta de expertos de todo el mundo que trabajan en la reducción de riesgos, gestión de emergencias y cambio climático. En las fichas identificativas se describe la amenaza con la métrica y sinónimos, los impulsores que la generan y las pautas para su gestión siendo, sin duda es un punto de partida para la caracterización de las amenazas en todas las disciplinas (UNDRR 2021).

A nivel europeo, la Agencia Medioambiental Europea ha publicado su informe *European Climate Risk Assessment* (EEA 2023:179) caracterizando 36 riesgos con los impulsores que los provocan y los impactos derivados, dentro de los cuales, en el subsistema de edificaciones no residenciales, identifica el patrimonio cultural como vulnerable a riesgos como la subida del nivel del mar entre otros.

En cuanto a la sinergia cambio climático y patrimonio, son varias las iniciativas que desde organismos internacionales tienen por objetivo abordar los desafíos que supone, entre los que destacamos La Agenda Global de Investigación y Acción

sobre Cultura, Patrimonio y Cambio Climático, resultado de la colaboración científica entre ICOMOS, UNESCO y IPCC (Morel *et al.* 2022).

Concretando en los estudios de caso de sitios arqueológicos, se han implementado diferentes proyectos europeos en los que se caracterizan las amenazas y diseñan herramientas para su detección temprana, entre los que destacamos proyectos como *ProtechtCHT2save* (Sardella *et al.* 2020).

En el presente trabajo haremos una selección de las amenazas que afectan directamente a los sitios arqueológicos en el apartado Resultados.

—Herramientas de monitoreo. Visores climáticos

Los satélites en órbita terrestre, las estaciones climáticas remotas y las boyas oceánicas se utilizan para monitorear el estado del tiempo y el clima actual. Por otro lado, los datos paleoclimáticos de fuentes naturales como núcleos de hielo, anillos de árboles y sedimentos de oceánicos permiten obtener registros climáticos de millones de años con los que los científicos elaboran modelos que pueden pronosticar las tendencias climáticas.

El visor climático es una herramienta de visualización de escenarios que nos permite tener una visión futura del clima, y que ayudará a la toma de decisiones siempre referidas a un horizonte superior del 2050. En este apartado haremos referencia a los visores en los que las predicciones hacen referencia a parámetro climáticos y en los que también se puede pronosticar la subida del nivel del mar.

Los estudios sobre el clima futuro se apoyan en simulaciones numéricas que exploran la evolución del clima medio y de su variabilidad. Este aspecto queda recogido en la expresión ‘proyección climática’, entendida como “la respuesta simulada del sistema climático a diversos escenarios” (Amblar *et al.* 2017).

El IPCC define escenario como “descripción plausible, y generalmente simplificada, sobre cómo puede desarrollarse el futuro (...) Conjunto de hipótesis de trabajo sobre cómo puede evolucionar la sociedad y qué puede suponer esa evolución para el clima”. Estos escenarios se denominan Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, de sus siglas en inglés). Aunque existen cuatro escenarios en los informes AR del IPCC, en el presente trabajo hablaremos del RCP 4.5, (referido al escenario más favorable y al RCP 8.5, considerado el más alarmante. Por otro lado, también se establecen “horizontes”, referido a plazos de tiempo, (IPCC 2022:8).

A nivel global, el IPCC ha creado un atlas interactivo con variables divididas en cuatro grupos, índices de temperatura y precipitaciones; océano con variables sobre subida del nivel del mar, temperatura superficial y pH, y otros como ozono y partículas, basándose en los datos del último informe AR6 (IPCC *interactive atlas*).

En cuanto a la elevación del nivel del mar destacamos el visor de la NASA (NASA sealevel) que, en el caso de España, cuenta con 23 puntos costeros de observación.

Por su parte, el Servicio de Cambio Climático es uno de los seis servicios de información temática que proporciona Copernicus, el Programa de Observación de la Tierra de la Unión Europea. La prestación del Servicio de Cambio Climático de Copernicus está a cargo del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo (CEPMMP), que actúa por cuenta de la Comisión Europea. El Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S) apoya a la sociedad proporcionando información sobre el clima pasado, presente y futuro en Europa y su visor *C3S atlas climate copernicus*, da cobertura a nivel mundial (Copernicus atlasC3S). C3S y la Agencia Europea de Medioambiente (AEMA) han desarrollado conjuntamente el Explorador Europeo de Datos Climáticos (alojado en Climate-ADAPT)

En el caso de España, las observaciones presentadas siempre se refieren a una rejilla observacional que se obtiene por métodos de interpolación a partir de datos puntuales de las estaciones climáticas de AEMET. En lo que respecta a la dimensión de la rejilla observacional en la Península y Baleares, esta es de 5 km y de mayor resolución 2.5 km para las islas Canarias, (Peral et al. 2017). El visor estatal está alojado en la plataforma AdapteCCa, una iniciativa conjunta de la Oficina Española de Cambio Climático y la Fundación Biodiversidad, ambas del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (AdapteCCa). Las variables están agrupadas en cuatro grupos, temperatura, humedad, y viento. En algunos casos se trata de variables proporcionadas directamente por las simulaciones y en otros casos son índices derivados calculados por el visor. En cuanto a los escenarios, es de interés el denominado Histórico, que comprende el periodo de entre los años 1971 al 2000, además de escenarios futuros RCP4.5 y RCP 8.5. Los datos se pueden filtrar para meses, estaciones o año completo. También se seleccionan las áreas geográficas desde los municipios. En el caso de los horizontes los ha dividido en futuro cercano (2011-2024), medio (2041-2070) y lejano (2071-2100). Su uso es bastante intuitivo, pero para su mejor comprensión y uso recomendamos la Jornada "Herramientas para la Adaptación al Cambio Climático", celebrada el 30 de junio de 2021, fruto del proyecto LIFE SHARA, promovido por el mismo ministerio (Salazar M. 2021).

Respecto a la erosión costera es un fenómeno que se está observando en numerosos litorales europeos, y es probable que empeore a medida que aumente el nivel del mar. Vigilar el movimiento de las costas es clave para comprender la evolución de los entornos costeros, además de servir para demostrar información fundamental a los responsables de la toma de decisiones a nivel regional.

La European Space Agency (ESA) ha estado desarrollando varios productos para responder a estos retos. En el marco del programa Ciencia de Observación de la Tierra para la Sociedad de la ESA, el proyecto Cambio Costero desde el Espacio (Coastal Change from Space) está proporcionando

información importante sobre los cambios en los litorales a nivel mundial. Aprovechando las imágenes satelitales recopiladas durante 25 años, incluidos datos de las misiones Sentinel-1 y Sentinel-2 de Copernicus, el equipo ha cartografiado 2.800 km de línea de costa analizados en cuatro países: el Reino Unido, Irlanda, España y Canadá (Martín 2021).

Dentro del anterior proyecto, a nivel estatal, la preocupación se centra en la gestión costera por lo que la comprensión del diseño y funcionalidad de un visor para la participación pública es fundamental (Díaz P. 2012). En este contexto, destaca el proyecto "Elaboración de la metodología y bases de datos para la proyección de impactos de cambio climático en la costa española (Losada I. 2020) financiado por el Ministerio de Transición Ecológica. Esta investigación ha desarrollado las proyecciones regionales de cambio climático de variables marinas necesarias para el estudio de impactos costeros a lo largo de la costa española. Las variables son: oleaje; nivel del mar asociado a la marea meteorológica; aumento del nivel del mar y temperatura superficial. Los datos generados proporcionan información climática para los escenarios RCP 4,5 y RCP 8,5 hasta fin del siglo XXI, gracias al almacén de datos climáticos y su Visor C3E (Ihcantabria.c3e).

Este último punto, la cuantificación del aumento del nivel del mar, es más complejo a escala del impacto que puede producir en un yacimiento arqueológico, ya que habría que estudiar otros aspectos específicos que pueden provocar modificaciones positivas o negativas. Es el caso de infraestructuras como puertos o diques cercanos que pueden aumentar la velocidad de las corrientes y la intensidad del oleaje ampliando la erosión costera. Aunque, el uso del visor es un punto de partida imprescindible para la toma de decisiones en cuanto al encargo de estudios posteriores.

De mayor complejidad es el comportamiento de eventos extremos, cuyo punto de partida son las proyecciones climáticas obtenidas mediante los modelos globales del clima, pero sin un visor ya que éstos ocurren ocasionalmente. Sin embargo, existen estudios de la caracterización del efecto que tiene el cambio climático sobre determinados aspectos de la ocurrencia de fenómenos hídricos extremos: modificaciones en su frecuencia, intensidad, duración, magnitud o severidad. Una revisión sobre los trabajos realizados al respecto es el promovido por la Fundación del Canal de Isabel II (Garrote L. 2020). Incluidos en los eventos extremos, y con la misma problemática, se encontrarían los visores de rayos y de las alarmas de riesgo de incendios, siempre en periodos cortos de tiempo (NASA fire).

— Nivel de exposición, índices y datos climáticos

Derivados de la necesidad de ejemplarizar experiencias, la caracterización de las amenazas conlleva la determinación de su exposición, es decir, el grado, la duración y/o extensión en el que el sistema (patrimonio) está en contacto con la amenaza.

La cuantificación del nivel de la exposición depende del parámetro a medir. Por ejemplo, lo expuesto que estaría un yacimiento arqueológico costero a la amenaza que supone la subida del nivel del mar serían los centímetros de aumento del nivel del mar, referido a una medida ya tomada o en la actualidad, y la pronosticada para los horizontes cercano y lejano.

En el caso de eventos meteorológicos extremos el nivel de exposición se cuantifica a través de unos índices climáticos ya estandarizados, y que en el contexto del cambio climático son de gran interés porque permiten el seguimiento del evento, en cuanto a intensidad y frecuencia, así como establecer niveles de alarma. En esta línea trabaja el Equipo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI) de la Organización Meteorológica Mundial OMM, que ha establecido una serie de 27 índices para la identificación y registro de eventos climáticos considerados extremos.

En cuanto al ámbito que nos ocupa hay que destacar los esfuerzos de dos proyectos de investigación por estandarizar el registro de los índices en relación con el patrimonio con

el objetivo de establecer protocolos para situaciones de alarma.

Así, y en aplicación al estudio de patrimonio, el proyecto de la Unión Europea ProteCHt2save seleccionó cuatro de entre los 27 índices del ETCCDI, que en posteriores proyectos han sido empleados (ProteCHt2 2017). Por su parte, el proyecto Hyperion, en su aplicación a los estudios de casos del conjunto básico de los 27 índices descriptivos ETCCDI selecciona 8 que enumeramos a continuación (Hyperion 2023).

Por último, añadimos los establecidos para los sitios declarados por la UNESCO del arco Mediterráneo por Kapsomenaskis *et al.* (2023).

En el caso de España, AEMET facilita los resúmenes climatológicos, anuales, estacionales o mensuales. Por otro lado, y gracias a la red de estaciones climáticas, también facilita los datos estadísticos de las mismas que, una vez descargados, permiten calcular los índices deseados para un sitio arqueológico en particular (AEMET). Del mismo modo, las CCAA cuentan con estaciones climáticas, pudiendo elegir entre las que más se aproximen al sitio objeto de estudio.

Igualmente, esta información resulta interesante en relación al análisis de riesgos naturales y al establecimiento de niveles de alerta recomendados en el ámbito de D.G. de Protección Civil y Emergencias (Basconillos 2024), en particular cuando el objetivo sea la implantación de un plan de salvaguarda.

— Identificación de los impactos en los sitios arqueológicos

El IPCC define el término Impactos como las consecuencias de las amenazas. Generalmente se refiere a efectos sobre vidas, medios de subsistencia, salud y bienestar, ecosistemas y especies, activos y servicios económicos, sociales y culturales e infraestructuras. Los impactos pueden ser denominados consecuencias o resultados, y pueden ser adversos o beneficiosos (IPCC 2022b).

En España, el informe titulado "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" promovido por la Oficina Española de Cambio Climático (OECC), enumera y evalúa los impactos que afectarán al territorio español. Sin particularizar en un sector específico sí menciona la pérdida de valores culturales y la inmersión de sitios patrimoniales por la subida del nivel del mar, así como otros impactos atribuidos en diferentes sectores que pueden reconocerse en sitios arqueológicos, por lo que puede ser un punto de partida para poder coordinar disciplinas con el objetivo de implantar medidas adaptativas con los mejores resultados (Sanz y Galán 2020).

Dos años más tarde, igualmente promovida por la OECC, se publica la Guía para la evaluación de riesgos asociados al cambio climático (Abajo *et al.* 2023), en la que se

ProteCHt2	
Índice	Descripción
R20 mm	Días de precipitaciones intensa
Rx5día	Cantidad de precipitación más alta en 5 días
DDC	Número máximo de días secos consecutivos
Tx90p	Porcentaje de días extremadamente cálidos
Hyperion	
FE	Días de heladas
ID	Días de formación de hielo
TN10p	Noche frías
TN90p	Noches cálidas
DRT	Rango de temperatura diurna
Rx5dat	Precipitación máxima en cinco días
R95pTOT	Precipitación por días muy húmedos
R99pTOT	Precipitación debida a días extremadamente húmedos
Kapsomenaskis. UNESCO	
TX ₃₇	Número de días de calor extremo >37° al año
FWI45	Número de días al año de riesgo extremo de incendio
PR99	Número de días de precipitación extrema por década
AI	Índice de Aridez. Relación precipitación y evapotranspiración
TN0	Número de días con -0°C al año
SRL	Subida del nivel del mar

Tabla 1.- Selección de índices climáticos en el patrimonio cultural. Fuente: ProteCHt2 2017; Sardella 2020; Hyperion 2023 y Kapsomenaskis *et al.* 2023.

establece el sector Servicios culturales (patrimonio, paisaje, accesibilidad) y turismo y, de forma genérica, determina daños directos en el patrimonio e indirectos en los ingresos debido al turismo.

En el caso del patrimonio cultural, diversos proyectos europeos han promovido metodologías que han supuesto un avance en la caracterización de las amenazas y los impactos derivados de las mismas, (Sesana 2018; Scott 2021). Algunos de ellos han priorizado categorías patrimoniales, como los yacimientos arqueológicos. Igualmente, estas metodologías se han aplicado en zonas con características climáticas susceptibles de obtener resultados extrapolables, como son los sitios patrimonio mundial en la cuenca del mediterránea (Reiman 2018; Kapsomenakis 2023; Vecchio 2023)

Por otro lado, ICOMOS en su documento *The Future of Our Past: Engaging Cultural Heritage in Climate Action*. Heritage and Climate Change Outline (2019), realiza una descripción de 22 amenazas y sus los impactos derivados en las cuatro categorías patrimoniales entre las que se encuentran los sitios arqueológicos.

Metodología

La metodología del presente trabajo es cualitativa y se basa en la revisión de publicaciones y experiencias realizadas en el ámbito del cambio climático y el patrimonio cultural. Esta búsqueda se realiza gracias a la base de datos Cisne de la Universidad Complutense de Madrid, con las palabras clave fueron “patrimonio” y “cambio climático”, en español e inglés.

También se revisan los proyectos europeos, con los mismos parámetros de búsqueda, que se desarrollan dentro la Plataforma Europea de Adaptación al Clima Climate-ADAPT, asociación entre la Comisión Europea y la Agencia Europea de Medio Ambiente, (Clima-ADAPT).

En cuanto a las referencias en el apartado de “amenazas”, la bibliografía que se propone no siempre es específica del campo patrimonial, es decir, el estudio de la subida del nivel del mar, por ejemplo, es global, y en cuanto a las referencias respecto de los “impactos”, la revisión sí es específica en patrimonio y, particularmente, en sitios arqueológicos.

El alcance del estudio incluye los sitios arqueológicos definidos en el Tratado de La Valeta, como “los vestigios, objetos y cualesquiera otras trazas de manifestaciones humanas (...) cuya preservación y estudio permitan reconstruir la historia de la humanidad y su relación con el medio ambiente”. Este mismo documento, especifica que dentro de dicho patrimonio arqueológico se “incluyen las estructuras, construcciones, grupos arquitectónicos, lugares de asentamiento, objetos muebles, monumentos de otra naturaleza, así como su contexto, localizados en tierra o bajo el agua” (BOE 2011 a: art 1). Aunque se encuentran incluidos en la definición de patrimonio arqueológico, aquí no vamos

a contemplar el estudio de la vulnerabilidad de objetos muebles o transportables, que entendemos, pueden protegerse en museos con las medidas de conservación preventiva adecuadas. Según lo anterior, atenderemos a los efectos producidos en el aspecto tangible e inmueble de los restos arqueológicos, dejando para otros estudios la significancia de los sitios y la pérdida de valores patrimoniales.

En el apartado Resultados, la tabla de correlación entre las amenazas e impactos está propuesta para los sitios arqueológicos en el territorio español, por lo que no se reflejan los producidos en otras latitudes con consecuencias del deshielo o tormentas tropicales, entre otros. Para su diseño, se han agrupado las amenazas en cuatro categorías.

Las dos primeras categorías estarán relacionadas con los eventos extremos, que dividimos a su vez en eventos meteorológicos extremos y fuego, ya conocidos pero que, como hemos mencionado anteriormente, presentan alteraciones en su frecuencia e intensidad. La tercera categoría está relacionada con los cambios que se manifiestan con dinámicas progresivas o denominados lentos y que serían los derivados de las oscilaciones térmicas e impactos físico-químicos (Sabioni *et al.* 2010; Daly 2011, 2014). Por último, una cuarta categoría relacionada con la subida del nivel del mar y su sinergia con las marejadas ciclónicas, quizás el más tratado y que representa un fenómeno específico derivado de los efectos del cambio climático (Cid *et al.* 2016). Según los expertos, esta subida del nivel mar tendrá efectos graves, como el retroceso de la línea de costa y pérdida de playas, o el mayor impacto de los temporales sobre las construcciones e infraestructuras costeras (Vargas-Yáñez *et al.* 2021, 2023), por ende, en el patrimonio cultural.

En el campo de impactos pueden estar identificadas amenazas del catálogo de UNDRR que hemos considerado, en el caso de sitios arqueológicos, impactos concatenados, como los deslizamientos o los cambios de patrones en la fenología y la biodiversidad de las especies. En la siguiente Tabla 2 se incluye, a modo de superíndice, la nomenclatura referente al catálogo UNDRR, en el que se identifica con letras la categoría de la amenaza seguida de un número correlativo. De esta forma “MH” serían las amenazas meteorológicas e hidrológicas y “EN” las ambientales.

Dentro de las amenazas incluimos en los eventos extremos las Depresiones Aisladas en Niveles Altos (DANAs), (Martín 2003; National Geographic 2025), que provocan lluvias intensas e inundaciones, y que son de especial interés en la zona mediterránea por su alto nivel de exposición.

En los sitios arqueológicos dividimos los daños en estructuras, cuando hacemos referencias a muros, o edificaciones compuestas de varios elementos, y en materiales, haciendo alusión a materiales pétreos, morteros, metales y orgánicos, pero siempre formando parte de estructuras inmuebles.

Resultados

EVENTOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS	
AMENAZAS	Lluvias intensas ^{MH0003} ; inundaciones fluvial ^{MH0007} ; vientos fuertes ^{MH0054} ; granizo ^{MH0036} ; nieve ^{MH0038} ; tormentas de nieve ^{MH0034} (1)
IMPACTOS	- Precipitaciones sólidas de partículas de hielo provocan acumulación con aumento de peso sobre las estructuras y riesgo de colapso (A) - Deslizamientos de tierra y rocas^{MH0052}, que pueden colapsar estructuras (A) - Daños en estructuras y materiales por la acción física de fuertes lluvias y viento (A) - Daños y pérdida total por la fuerza del agua de inundación, escombros y sedimentos (4) - Inundación de estructuras sin posible evacuación, enterramientos, piletas, etc (A) - Riesgo de subsidencia de estructuras por debilitamiento del asentamiento (A) - Daños por la construcción de defensas contra inundaciones fluviales (3) - Pérdida de estratigrafías (4) - Daños por congelación/descongelación de materiales porosos (4)
FUEGO	
AMENAZAS	Incendios forestales ^{EN0013} (1) Aumento del número de episodios de tormentas secas y rayos (5)
IMPACTOS	- Daño o destrucción de las estructuras de origen orgánico (3) - Alteración por calor de materiales. Fractura por calor de artefactos de piedra. Decoloración, exfoliación, desplazación y manchas de imágenes de rocas y petroglifos (3) - Mayor susceptibilidad a la erosión e inundaciones del suelo (3) - Daños por caída de árboles muertos (3) - Daño físico por esfuerzos de extinción de incendios (3)
OSCILACIONES TÉRMICAS E IMPACTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE EFECTOS CON DINÁMICAS PROGRESIVAS	
AMENAZAS	Ola de frío ^{MH0040} , heladas ^{MH0042} ; ola de calor ^{MH0047} ; sequía ^{MH0035} ; viento ^{MH0060} (1)
IMPACTOS	- Erosión del suelo^{EN0019} (2) y mayor riesgo a pérdida de material por escorrentía (A) - Erosión de los materiales por acción del viento (3) - Estrés térmico de los materiales (2), microfisuras en materiales (3) - Termoclascismo (4) - Disolución de materiales (matrices en morteros, etc) (6) - Oxidación acelerada en recursos sumergidos y litorales debido a temperaturas marinas más cálidas (3) - Descomposición más rápida de materiales orgánicos materiales debajo y sobre el suelo (3) - Daños por aumento de actividad biológica en sitios submarinos poco profundos (3) - Aumento del crecimiento de árboles y vegetación con raíces asociadas u otros daños (3) - Reducción del caudal de los embalses y lagos (2) y desecación de depósitos anegados; pérdida de información paleoambiental (3) - Exposición de sitios sumergidos debido a niveles más bajos de agua en lagos y embalses (3) - Salinidad^{EN0007}, aerosoles marinos. Mayor penetración de sales y lluvia en piedra y materiales porosos, donde los cristales en crecimiento o el congelamiento/descongelamiento pueden comenzar a romper el material (3) - Pérdida de biodiversidad^{EN0008} (2) colonias líquénicas protectoras (6) - Riesgo de ataque de microorganismos e insectos (4) - Daños por disminución de la humedad en materiales orgánicos (4) - Movimiento de dunas con enterramiento de estructuras (A)
SUBIDA DEL NIVEL DEL MAR Y MAREJADAS CICLÓNICAS	
AMENAZAS	Subida del nivel del mar ^{EN0023} , marejada ciclónica ^{EN0027} (1)
IMPACTOS	- Inundación costera^{MH0027}, inmersión de estructuras (2) - Alteración de las condiciones de conservación debido a la intrusión salina (3) - Erosión costera y cambio de la línea de costa^{EN0020} (2), pérdida de estructuras costeras. (3) - Daños a sitios arqueológicos por la construcción de defensas contra inundaciones costeras (3)
REF (1) UNDRR 2021; (2) Sanz y Galán 2020; (3) ICOMOS 2019; (4) Kapsomenaskis <i>et al.</i> 2023; (5) Romps <i>et al.</i> 2014; Machibata T. 2024; (6) Daly C. 2011; (A) Autoras [1]	

Tabla 2.- Listado de amenazas y posibles impactos derivados del cambio climático en sitios arqueológicos. En el campo Ref. se incluyen las empleadas para la tabla si bien muchos de los impactos están descritos por varios autores.

Conclusiones

En este artículo hemos seleccionado las referencias de las principales amenazas y los posibles impactos en sitios arqueológicos, intentando abarcar todas las posibilidades que pueden darse en el territorio español, selección en la que se debe seguir trabajando ayudados por las experiencias en otras disciplinas.

Algunas de las ventajas de adoptar metodologías heredadas de otros ámbitos es el empleo de herramientas ya diseñadas y glosarios estandarizados que permitan un trabajo interdisciplinar. En el ámbito del cambio climático es una necesidad ineludible, ya que impone un entendimiento global en cuanto a la hora de medir sus impactos cuantificar las pérdidas e implantar medidas de adaptación.

Por otro lado, en el caso del aumento de las temperaturas, cuyo seguimiento es posible gracias a los índices climáticos y las previsiones de los visores, tienen graves y generalizadas consecuencias en todos los sitios arqueológicos de la península ibérica. La vulnerabilidad de los materiales arqueológicos aumenta debido al estrés térmico y a la erosión posterior, llegando a ser alarmante en el caso de lluvias torrenciales.

A través de este artículo se ha pretendido realizar una revisión de las herramientas más actualizadas en la materia de identificación de amenazas derivadas del cambio climático, acercándolas al ámbito de la conservación del patrimonio cultural y realizando un análisis más exhaustivo sobre aquellas que tienen un impacto específico sobre los yacimientos arqueológicos. No cabe duda de que hay que seguir profundizando en la gravedad de los mismos, poniendo el foco en aspectos con dinámicas progresivas de degradación de los materiales o las modificaciones en los valores intangibles causados, por ejemplo, por el cambio de hábitos en el turismo. Aspectos que no están más que empezando a vislumbrarse. De cualquier forma, es algo que no se puede afrontar sin tener en cuenta otros sectores y sin poner realmente en práctica la interdisciplinariedad de los estudios, como ha quedado demostrado en la revisión aquí realizada.

Notas

[1] Tesis matriculada curso 2022-2023 Facultad de Bellas Artes, Universidad Complutense de Madrid. Dirigida por doctora Marta Plaza Beltrán, profesora titular del Departamento de Pintura y Conservación-Restauración de la Facultad de Bellas Artes de Madrid (UCM).

Agradecimientos

Nuestro más sincero agradecimiento al Doctor Fernando Carrera Ramírez, por su tiempo y reflexiones, que han sido decisivas para la redacción del presente artículo.

Referencias

- ABAJO, B., NAVARRO D., GARCÍA G., ZORITA S., FELIU E., KLETT P., SÁNCHEZ M. Y HERAS F. (2023): *Guía para la evaluación de riesgos asociados al cambio climático 2023*. Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico. ISBN (online): 978-84-18508-95-0. https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/miteco_guia_evaluacion_riesgos_cambio_climatico_2023.pdf
- ADAPTECCA (s.f.). https://escenarios.adaptecca.es/#&model=EURO-CORDEX-EQM.average&variable=tasmax&scenario=rcp85&temporalFilter=year&layers=AREAS&period=MEDIUM_FUTURE&anomaly=RAW_VALUE1 [consultado 05/08/2024]
- AEMET (2023). Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Informe del estado del clima en España 2023*. https://www.aemet.es/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/detalles/informe_estado_clima.
- AEMET. (s.f.). Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. www.aemet.es/es/eltiempo/observaciones/ultimosdatos
- AMBLAR, P., CASADO, M. J., PASTOR, A., RAMOS, P.Y RODRÍGUEZ, E. (2017). *Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5*. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. <https://doi.org/10.31978/014-17-010-8>
- BASCONCILLOS ARCE, J. (2024). *Riesgos Naturales. Identificación y Análisis online*. Unidad Didáctica 1. Introducción a los Riesgos Naturales. D.G. de Protección Civil y Emergencias. Ministerio de Interior. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- BOE (2011). Nº 173, 20 de julio. *Instrumento de Ratificación del Convenio Europeo para la protección del patrimonio arqueológico (revisado), hecho en La Valeta el 16 de enero de 1992*. Convenio europeo para la protección del patrimonio arqueológico. Artículo 1. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-12501>. [consulta 27/01/2024]
- CID, A., MENÉNDEZ M., CASTANELO S., ABASCAL A, MÉNDEZ F. Y MEDINA R., (2016). "Long-term changes in the frequency, intensity and duration of extreme storm surge events in southern Europe", *Clim Dyn* 46:1503–1516 <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2659-1>
- Copernicus atlasC3S. (s.f.). <https://atlas.climate.copernicus.eu/atlas> [consulta 06/08/2024]
- Climate-ADAPT. (s.f.). <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/about> [consulta 20/12/2024].
- CLIMATE CHANGE AND CULTURAL HERITAGE WORKING GROUP INTERNATIONAL (2019). *The Future of our past. Engaging cultural heritage in climate action. Technical Report. International Council on Monuments and Sites - ICOMOS*, ICOMOS Paris, 62. <https://openarchive.icomos.org/id/eprint/2459/%2026/03/2023>

- DALY C. (2011). "Climate Change and the Conservation of Archaeological Sites: A Review of Impacts Theory, *Conservation and mgmt of arch. sites*, 13(4): 293–310. <https://doi.org/10.1179/175355212X13315728646058>
- DALY C. (2014). "A Framework for Assessing the Vulnerability of Archaeological Sites to Climate Change: Theory, Development, and Application". *Conservation and mgmt of arch. sites*, 16(3): 268–282. <https://doi.org/10.1179/1350503315Z.00000000086>
- DÍAZ P., OJEDA, J. P. PÉREZ J. P. Y DISEÑO J. (2012). "Diseño y funcionalidades de un Visor Web para la participación pública en los procesos de planificación y gestión costera". *GEOTEMAS* 15: 105
- EEA (2023). *European Climate Risk Assessment*. Agencia Medioambiental Europea. <https://www.eea.europa.eu/publications/european-climate-risk-assessment>.
- ETCCDI (s.f.). *Equipo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático*. <https://www.wcrp-climate.org/etccdi> [consultado el 17/07/2024]
- GARCÍA GONZÁLEZ, M. B., JORDANO, P. (2020). *Global change impacts*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España). <http://doi.org/10.20350/DIGITALCSIC/12654>
- GARROTE L., SORDO-WARD A. EIGLESIAS A. (2020). *Eventos hidrológicos y modelización*. Fundación Canal II. https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/2020_eventos-hidrologicos-extremos-y-cambio-climatico_fundacioncanal.pdf
- GREENPEACE (2024). *Crisis a toda costa 2024. Análisis de la situación del litoral ante los riesgos de la emergencia climática*. <https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2024/07/crisis-a-toda-costa-2024.pdf>
- HYPERION (2023). *Development of a Decision Support System for Improved Resilience & Sustainable Reconstruction of historic areas to cope with Climate Change & Extreme Events based on Novel Sensors and Modelling Tools*. Hyperion. <https://cordis.europa.eu/project/id/821054>.
- IHCANTABRIA C3E. (s.f.). <https://c3e.ihcantabria.com/> [consultado el 05/08/2024]
- IPCC (s.f.). INTERACTIVE ATLAS. <https://interactive-atlas.ipcc.ch/> [consultado el 05/08/2024]
- IPCC (2022 a y b). FullReport WGII. AR6. Pag 154. Recuperado 2 de agosto de 2023 en https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf
- KAPSOMENAKIS J., DOUVIS C., POUPKOU A., ZEREFOS S., SOLOMOS S., STAVRAKA T., MELISN., KYRIAKIDIS E., KREMLISG. AND ZEREFOS, Z. (2023). "Climate change threats to cultural and natural heritage
- UNESCO (s.f.). UNESCO sites in the Mediterranean". *Environment, Development and Sustainability* 25:14519–14544. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02677-w>
- LOSADA I, (coord.) (2020). Guía Metodológica. Metodología y bases de datos para la proyección de impactos de cambio climático a lo largo de la costa española. Fundación Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria. Gobierno de Cantabria.
- MARCOS M. (2021). Cómo afectará la subida del nivel del mar en la costa mediterránea por el cambio climático. <https://www.iagua.es/blogs/marta-marcos/como-afectara-subida-nivel-mar-costa-mediterranea-cambio-climatico>
- MARTÍN LEÓN F. (2003). "Las gotas frías/DANAs. Ideas y conceptos básicos. Servicio de Técnicas de Análisis de Prevención. Instituto Nacional de Meteorología. <https://www.aemet.es/danas> [consultado el 02/08/2024].
- MARTÍN LEÓN F. (2021). "Medición del retroceso de las líneas de costa". *Rev digital METEORED* www.tiempo.com/ram/med [consultado el 7/7/2024].
- MICHIBATA M. (2024). "Significant increase in graupel and lightning occurrence in a warmer climate simulated by prognostic graupel parameterization". *Scientific Reports*, 14, 3862. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54544-5>
- MOREL H. et al. (2022). Global research and action agenda on culture, heritage and climate change. Project Report. ICOMOS & ISCM CHC, 69. <https://openarchive.icomos.org/id/eprint/2716>
- NASA sealevel. (s.f.). <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool> [consultado el 05/08/2024]
- NASA fire. (s.f.). <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map>. [consultado el 08/08/2024]
- National Geographic, (2025). "En el interior de la DANA", 55 (6).
- PERAL C., NAVASCUÉS B. Y RAMOS P. (2017). Serie de precipitaciones diarias en rejilla con fines climáticos. *Nota Técnica 24 de AEMET*. <https://doi.org/10.31978/014-17-009-5>.
- PROTECHT2SAVE. (2017). Interreg Central Europe. Risk assessment and sustainable protection of cultural heritage in changing environment. <https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/ProteCht2save.html> . [consulta el 05/02/2024]
- REIMANN L., VAFEIDIS A., BROWN S., HINKEL J AND TOL R. (2018). "Mediterranean UNESCO World Heritage at risk from coastal flooding and erosion due to sea-level rise". *Nature Communication*. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06645-9>.
- ROMPS D., SEELEY J., VOLLARO D. AND MOLINARI J. (2014). "Climate change. Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming". *Science* 346(6211):851-854. <https://doi.org/10.1126/science.1259100>.
- SABIONI, C., BRIMBLECOME P. Y CASSAR M. (2010). The Atlas of climate change impacto European cultural heritage. Anthem Press. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/11959>
- SANZ, M.J. Y GALÁN, E. (2020). *Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España*. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid. NIPO (en línea): <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/pag-web/impactos-cambio-climatico-espana.html>

SARDELLA, A., PALAZZI, E., HARDENBERG, J., DEL GRANDE, C.; DENUNTIIS, P., SABBIONI, C. Y BONAZZA, A. (2020). "Risk Mapping for the Sustainable Protection of Cultural Heritage in Extreme Changing Environments", *Atmosphere* 11(7):11-18. <https://doi.org/10.3390/atmos11070700>

SALAZAR M. (2021). *Jornada nacional de herramientas para la adaptación al cambio climático*. Oficina Española del Cambio Climático. Proyecto LIFE-SHARA. <http://www.lifeshara.com>.

SCOTT A., RICHARDS J. AND FATORIC S. (2021). "Climate Change and Cultural Heritage: A Systematic Literature Review (2016–2020)", *The Historic Environment: Policy & Practice*, 12 (3-4): 434-477, <https://doi.org/10.1080/17567505.2021.1957264>

SESANA E, GAGNON A.S. Y BERTOLIN C. (2018). "Adapting Cultural Heritage to Climate Change Risks: Perspectives of Cultural Heritage Experts in Europe". *Geosciences*, 8(8):305; <https://doi.org/10.3390/geosciences8080305>

UNDRR (2021). UNDRR-ISC Hazard Information Profile Supplement to UNDRR-ISC Hazard Definition & Classification Review - Technical Report. <https://doi.org/10.24948/2021.05>

VARGAS-YÁÑEZ, M.; TEL, E.; MOYA, F.; BALLESTEROS, E.; GARCÍA-MARTÍNEZ, M.C. (2021). "Long-Term Changes, Inter-Annual, and Monthly Variability of Sea Level at the Coasts of the Spanish Mediterranean and the Gulf of Cádiz". *Geosciences*, 1: 350-370 <https://doi.org/10.3390/geosciences11080350>

VARGAS-YÁÑEZ, M.; TEL, E.; MARCOS, M.; MOYA, F.; BALLESTEROS, E.; ALONSO, C.; GARCÍA-MARTÍNEZ, M.C. (2023). "Factors Contributing to the Long-Term Sea Level Trends in the Iberian Peninsula and the Balearic and Canary Islands". *Geosciences*, 13(6): 160. <https://doi.org/10.3390/geosciences13060160>

VECCHIO A., ANZIDEI M. AND SERPELLONI E. (2023). "Sea level rise projections up to 2150 in the northern Mediterranean coasts". *Environmental Research*. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad127e>.

Colaboración en la Comisión de redacción y seguimiento del Plan Nacional de Paisaje Cultural desde 2011.



Marta Plaza Beltrán

mplazabe@art.ucm.es

Facultad de Bellas Artes (UCM)

<https://orcid.org/0000-0003-4545-6426>

Doctora y Licenciada en Bellas Artes (UCM) en la especialidad de restauración. Profesora Titular del Departamento de Pintura y Conservación-Restauración de la Facultad de Bellas Artes (UCM). Su línea de investigación, académica y profesional se centra en la Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural. Ha impartido docencia en diferentes titulaciones de Licenciatura, Grado y Máster, en la Universidad pública (UCM) y en la privada (Universidad SEK, IE University). Con estancias en centros docentes de Italia, Portugal, Taiwán, etc. Ha participado en numerosos proyectos de investigación y de docencia financiados, como directora y como miembro del equipo de investigación (I+D+I, art. 83, PIMCD). Igualmente, ha participado en importantes encuentros, seminarios y congresos. Posee publicaciones en revistas indexadas, así como monografías. Dentro del campo profesional ha sido responsable de la dirección técnica de obras de conservación-restauración en diferentes ámbitos: pintura mural, retabística, escultura, pintura de caballete, material etnográfico, etc. mediante contratación directa y concursos públicos a través de empresa propia (Sociedad Limitada). Ha trabajado para instituciones públicas y privadas (Patrimonio Nacional, Museos, Ministerios, Comunidades Autónomas, Diputaciones, Ayuntamientos, Embajadas, Obispos, Fundaciones, etc.). Ha elaborado informes técnicos específicos para concursos públicos y peritajes de conjuntos artísticos. Vinculado con la puesta en valor de conjuntos históricos destaca la realización de facsímiles de pinturas murales (gran formato). Miembro del comité científico y revisora de varias revistas especializadas. Revisora en dos editoriales, nacional e internacional. Evaluadora de la Agencia Estatal de Investigación (AEI).

Autor/es



Elena García Martínez

mariae80@ucm.es

Alumna doctorado - Facultad de Bellas Artes (UCM)

<https://orcid.org/0000-0003-4775-5681>

Conservadora-Restauradora, Escuela Superior de Conservación y Restauración de BBCC. Grado en Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, UNED. Máster en Bienes Culturales: Conservación, Restauración y Exposición, Facultad de Bellas Artes, UCM. Máster en Estudios Avanzados de Museos y Patrimonio Histórico-Artístico, Facultad de Geografía e Historia, UCM. Recorrido laboral vinculado al ámbito de museos y yacimientos arqueológicos, en 2010 se incorpora a la plantilla del Departamento de Materiales Pétreos del IPCE.

Artículo enviado 19/10/2024
Artículo aceptado el 06/02/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v27i1.1347>



Proteger el patrimonio científico instrumental: el debate de la funcionalidad y el uso frente a la conservación. Herramientas para su preservación, recuperación y difusión

Laura Díaz Moreno

Resumen: El desconocimiento, la falta de recursos o la aparición de las nuevas tecnologías, son solo algunos de los factores por los que el patrimonio científico técnico se sigue manteniendo a la sombra del resto de tipologías patrimoniales. La funcionalidad se presenta como un nuevo concepto indispensable a la hora de estudiar tanto los objetos relacionados con la ciencia, como los procesos de conservación y restauración más adecuados en estas colecciones. El objetivo de este artículo es, por lo tanto, poner en valor el patrimonio científico, concretamente, el instrumental y reflejar los retos a los que se enfrentan los responsables de este patrimonio con dos ejemplos: el instrumental del CSIC y las colecciones universitarias científicas. Asimismo, la realización de reproducciones o réplicas constituyen una herramienta muy útil para preservar y difundir el patrimonio científico instrumental.

Palabras clave: colecciones universitarias, criterios, docencia, geología, instrumentos, patrimonio científico, réplica, Zeiss

Protecting instrumental scientific heritage: the functionality and use versus conservation debate. Tools for preservation, recovery and dissemination

Abstract: Lack of knowledge, lack of resources or the emergence of new technologies are just some of the factors that keep scientific and technical heritage in the shadows of other types of heritage. Functionality is presented as a new indispensable concept when studying both science-related objects and the most appropriate conservation and restoration processes in these collections. The aim of this article is, therefore, to highlight the value of scientific heritage, specifically the instruments, and to reflect the challenges faced by those responsible for this heritage with two examples: the CSIC instruments and the scientific university collections. Moreover, the creation of reproductions or replicas is a very useful tool for preserving and disseminating the scientific instrumental heritage.

Keywords: university collections, criteria, teaching, geology, instruments, scientific heritage, reply, Zeiss

Proteger o património científico instrumental: o debate entre funcionalidade e uso versus conservação. Ferramentas para a sua preservação, recuperação e divulgação

Resumo: O desconhecimento, a falta de recursos ou o surgimento de novas tecnologias são apenas alguns dos fatores que mantêm o património científico técnico na sombra de outras tipologias patrimoniais. A funcionalidade surge como um conceito indispensável ao estudar tanto os objetos relacionados com a ciência como os processos de conservação e restauro mais adequados para estas coleções. O objetivo deste artigo é, portanto, valorizar o património científico, concretamente o instrumental, e refletir sobre os desafios enfrentados pelos responsáveis por este património, ilustrados com dois exemplos: o instrumental do CSIC e as coleções científicas universitárias. Além disso, a criação de reproduções ou réplicas constitui uma ferramenta muito útil para preservar e divulgar o património científico instrumental.

Palavras-chave: coleções universitárias, critérios, ensino, geologia, instrumentos, património científico, réplica, Zeiss

Introducción

Desde la primera vez que se menciona “la Conservación, Defensa, y Acrecentamiento del Patrimonio Histórico Español” en la normativa republicana del 13 de mayo de 1933, pasando por el art. 46 de la Constitución Española de 1978 hasta la actual Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español, el concepto de “patrimonio” ha ido englobando con el tiempo otras tipologías, además del artístico (Jiménez, De la Lastra, Baratas 2004: 121-141). Aunque se recoge que el patrimonio científico técnico forma parte de este “Patrimonio”, la ley vigente no contempla un apartado específico como se dedica al arqueológico, etnográfico y documental (Boletín Oficial del Estado, 1985). Para encontrar referencias específicas, hay que consultar las leyes de las Comunidades Autónomas de nuestro país.

Teniendo en cuenta el largo recorrido del Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (MuNCyT) por su abundante colección histórica de piezas relacionadas con la ciencia, las comunicaciones y la innovación, se revisa la Ley 08/2023, de 30 de marzo, de Patrimonio Cultural de la Comunidad de Madrid, pues la principal sede del museo se ubica en este territorio (Alcobendas). Además de ser la más reciente, esta ley cuenta con varios capítulos dedicados al patrimonio científico y tecnológico e industrial (Boletín Oficial del Estado 2023: 38-40). Aunque supone un avance significativo en su protección (arts. 80 y 84), pues se habla de no destruir objetos de “fabricación anterior a 1950”, no mencionan en qué casos está justificado y las razones. Tampoco se habla de la importancia de la documentación previa, las pautas a seguir para su conservación y restauración o los permisos de exportación.

A nivel internacional, la única normativa que habla sobre la protección del patrimonio generado por la actividad científica y tecnológica es la Carta de Nizhny Tagil sobre Patrimonio Industrial (2003) (TICCIH 2003: 1-4) en la que se definen cuestiones como su significado, importancia o conservación.

Además de por esta ausencia de especificaciones, queda demostrado que el patrimonio científico técnico se queda al margen del artístico o arqueológico que cuentan con un mayor reconocimiento en nuestra sociedad. Entre algunos de los factores que han propiciado esta falta de puesta en valor son el desconocimiento del objeto, su gran tamaño y peso, o los avances tecnológicos que provocan una constante obsolescencia. Esto conduce a que aparatos y estudios científicos queden desestimados (Díaz-Cortés, Ramírez, Leal *et. al.* 2020: 7). Asimismo, los costes de un mantenimiento periódico y de recursos humanos también suponen que sean reemplazados por otros más rentables y eficientes.

Cabe destacar en este punto que, actualmente, no se imparten formaciones especializadas en la conservación y restauración de patrimonio científico técnico o industrial

en la que se proporcionen a los profesionales una serie de métodos a seguir. Los estudios sobre materiales metálicos y sus procesos de degradación es lo más aproximado en cuanto al patrimonio científico técnico e industrial se refiere. Como ejemplo de lo mencionado, se pueden destacar los trabajos del Grupo COPAC del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CSIC) cuyos objetivos están enfocados en determinar las causas de deterioro y los sistemas de protección frente a la corrosión de metales empleados en bienes culturales ^[1].

Por otro lado, este interés por el patrimonio científico se ha desarrollado con más intensidad en otros países que han apreciado a sus personajes más célebres como Louis Pasteur o Leonardo da Vinci. Esta fascinación condujo a reunir muchos de los objetos que han utilizado a lo largo de su vida y, como consecuencia, ha dado lugar a la creación de un espacio museístico acorde a su relevancia nacional e internacional. En nuestro país, el apego hacia las colecciones científicas comenzó con la inquietud de Carlos III de formar, con todo tipo de objetos, el Real Gabinete de Historia Natural, que, hoy en día, se conservan en el Museo Nacional de Ciencias Naturales. Sin embargo, este patrimonio científico- técnico sigue siendo desconocido para la mayoría de la sociedad, pues entre otras razones, no existen, por el momento, museos dedicados a la figura de un científico español.

Tras la exposición de esta falta de regulación y de conocimiento sobre el patrimonio científico- técnico, se exponen una serie de ejemplos que conducen a reflexionar sobre el uso y conservación de determinados instrumentos históricos. ¿Utilizaríamos para demostraciones didácticas un microscopio de los años 40, o nos limitaríamos a exponerlo en una vitrina sin comprender cómo funciona?

La definición de patrimonio científico técnico

Una propuesta amplia para la definición del patrimonio científico es “aquellos objetos, instrumentos, libros, manuscritos, manuales, material audiovisual etc. que forzosamente implica la actividad científica no solamente desde el punto de la investigación sino también de la docencia y de la divulgación. Las aplicaciones industriales, las referidas al transporte, a la energía, a la informática, a la agricultura, a la pesca... derivados de la actividad técnica quedaría definido en lo que podríamos llamar el patrimonio tecnológico” (Jiménez, De la Lastra, Martín 2014: 265). No obstante, el término también podría definirse como “artefactos relacionados con la historia y el desarrollo de la ciencia, la industria, la medicina y la tecnología” como lo propuso Hazel Newey hace unos años (Newey 2000: 137-139). Estas colecciones poseen unas determinadas características que las diferencian del resto de elementos patrimoniales. La entidad material del propio objeto se suma a una parte inmaterial, que se refiere a su uso, a su historia y a su valor científico y social. La variedad de materiales que los conforman, las dimensiones, su función, etc. constituyen

un gran reto que implica la colaboración entre historiadores de la ciencia, ingenieros y científicos y profesionales de la conservación y restauración. Esta unión tan diversa se lleva a cabo con el fin de acordar los procesos e intervenciones más adecuados para respetar el valor de autenticidad del objeto (Del Egido, Jiménez, Baeza 2003: 98-101).

El concepto de “canibalismo” en la restauración de instrumentación científica

Las intervenciones en objetos de carácter científico, industrial o tecnológico no siguen los criterios clásicos establecidos en la teoría de la conservación y restauración. No se limitan a devolver el aspecto estético o histórico, como menciona la Carta de Venecia (1964), sino que entra en juego un nuevo valor: la funcionalidad y por ello, se debe tener muy presente para qué fue concebido dicho objeto (Gual 2018: 94-95). Llegados a este punto, la funcionalidad y la conservación pueden entrar en conflicto haciendo que nos surjan muchas dudas sobre cómo efectuar los procesos de conservación y restauración, ¿a qué se le da más prioridad; a restaurar la pieza para que siga cumpliendo su función- para la que ha sido fabricada- o a mantener el objeto intacto porque prima la conservación y, por ello, ¿se manipula lo menos posible? Esta controversia es un tema muy discutido entre los profesionales de la conservación y restauración cuya especialidad es precisamente esta, preservar el patrimonio científico.

Este debate tratado en la mesa de las IV jornadas Restauración-Ciencia dio lugar a diferentes opiniones sobre un nuevo término de conservación que pone de manifiesto las intervenciones en patrimonio: el “canibalismo”. Este concepto alude a poner en funcionamiento maquinaria o instrumental científico a partir de otras piezas de similares características ya que las del objeto original han sido destruidas. Para comprenderlo mejor, se expone el caso de *Aparato para corrientes líquidas* (1942) (número de inventario “1923-H / 4B018”) conservado en el “Instituto de Tecnologías Físicas y de la Información Leonardo Torres Quevedo- CSIC”3 [Figura 1].

Este conjunto instrumental se recoge en el “Plan para la Identificación, Recuperación y Conservación de Instrumentos y Aparatos Científicos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Plan ICIH)” que, desde el 2016, pone en valor este amplio patrimonio de los diversos centros de investigación que forman parte del CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas 2023). El *Aparato para corrientes líquidas* presentaba una pérdida de piezas que dificultaban la comprensión del objeto. Como se trata de un objeto fabricado en serie, se pudo completar con piezas de otros instrumentos científicos, pues lo único en que se diferencian es en el número de serie (Moreno 2019: 187). El pie que sustenta el objeto y los fragmentos azules del interior que se ven en la Figura 1, llamados “obstáculos”, recomponen así el objeto a partir de tres aparatos incompletos.

Para efectuar este procedimiento la persona a cargo se guió de sus propios criterios estableciendo para la “recomposición” las siguientes premisas:

- 1) Que existan varios instrumentos similares
- 2) Que se pueda completar uno de ellos con algún componente de los instrumentos repetidos
- 3) Que el objeto a recomponer esté en buen estado de conservación
- 4) Que esta “recomposición” tenga un objetivo concreto (puesta en funcionamiento, exposición, divulgación, etc.)

Esta práctica puede generar cierta polémica porque las pautas las establece el profesional encargado de esta labor y se pueden tener diferentes opiniones al respecto, pero aporta al instrumento un gran valor histórico para comprender el escenario científico de la época y le devuelve su legibilidad. Actualmente, se muestra musealizado expuesto en una vitrina acompañado de objetos similares que narran la historia de la ciencia, pero, por el momento, no se utiliza para fines didácticos a pesar de su correcto funcionamiento y de su buen estado de conservación.



Figura 1.- “Aparato para corrientes líquidas” (1942). La introducción de agua por la parte superior refleja los distintos regímenes de fluido que se desplazan por el cristal según el obstáculo que se introduce en el interior. Fotografía de Esteban Moreno Gómez.

Sin embargo, no siempre se procede de esta forma. Otro caso completamente distinto es la conservación absoluta del objeto. Esto sucede con los microscopios del Legado Santiago Ramón y Cajal conservados actualmente en el Museo Nacional de Ciencias Naturales. A estos objetos que proceden de la época de Santiago Ramón y Cajal y de su "Laboratorio de Investigaciones Biológicas" -actual Instituto Cajal-, aun conservándose piezas sueltas no se les ha añadido ninguna que forme parte de otros microscopios, por lo que no han sufrido esta "recomposición". La falta de concienciación sobre su importancia y el desinterés son factores que han propiciado su olvido en un almacén, a la espera de un museo apropiado para poder exhibirse al espectador Biosca (2023). Estos objetos solo son una pequeña parte de una colección inmensa declarada "Bien de Interés Cultural" en abril de este mismo año.

Retos en la conservación de colecciones universitarias

En los casos anteriores con el concepto de "canibalismo" y "recomponer" los objetos originales, se atiende más específicamente a la disparidad de pautas respecto a la intervención en patrimonio científico técnico. Sin embargo, el funcionamiento de un instrumento no requiere siempre de una recomposición, sino que existen numerosos objetos que se han conservado intactos a lo largo de los años y, gracias a ello, se pueden mostrar para el disfrute de un público interesado en comprender su historia y su uso.

Esta idea se refleja con la colección de objetos históricos del Museo de la Geología ubicado en la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid. Esta pequeña colección se forma con motivo de la exposición temporal "Minerales de la Comunidad de Madrid" en 2011. A partir de este momento y de manera espontánea, el museo comienza a nutrirse de donaciones y depósitos de los distintos departamentos y particulares. Así, pues, se recoge el legado material de la propia facultad. Como muchos otros museos universitarios, se crea gracias al interés en conservar y difundir su patrimonio, relacionado, en este caso, con la geología (González 2003: 68).

Aunque se trata de un museo pequeño, alberga numerosos objetos de interés como la colección de goniómetros^[2], mapas geológicos, microscopios y fundamentalmente, piezas de campo como minerales, rocas y fósiles. Algunos de estos objetos, se enseñan al público durante las visitas guiadas que se realizan y, por lo tanto, están sujetas a una manipulación constante. Este es el caso de un microscopio petrográfico con cámara clara o lúcida de los años 40, que permite visualizar al mismo tiempo la preparación del microscopio y el dibujo que se está realizando sobre el papel con un prisma y un espejo. Se escogió este aparato por su fácil manejo e interés, además de que no requiere un elevado coste económico y, al haber varios ejemplares similares y estar en unas condiciones de conservación óptimas, no supone ningún riesgo de daño o deterioro significativo.

Pero ¿qué pasaría si pudiéramos en funcionamiento un objeto único del que no existieran más ejemplares? Surgiría de nuevo la controversia de mostrar su función para la que se creó o establecer una total conservación. Este debate surge con una pieza específica del museo que fue de D. Eduardo Hernández- Pacheco, un personaje de gran relevancia para la geología española de principios del siglo XX.

Se trata de un Epidiascopio modelo *Lektor* fabricado por la marca alemana "ZEISS IKON" entre 1930 y 1940. Este aparato, precedente del diascopio que refleja solo transparencias y diapositivas de vidrio, es capaz de proyectar además cuerpos opacos como fotografías o ilustraciones de libros. El mecanismo, por lo tanto, puede funcionar de dos maneras distintas según se posicione previamente la palanca situada en el lado izquierdo (9):

1. Colocando el objeto en un compartimento interno cerrado (5) cuya imagen se refleja con la lente de mayor diámetro (2), modo EPI.
2. Colocando una diapositiva en la base transparente (4) cuya imagen se proyecta con la lente superior (3), modo DIA [Figura 2a]. Ambas proyecciones son posibles gracias al sistema de espejos y lentes interno [Figura 2b].

Sin embargo, uno de los obstáculos a los que nos tuvimos que enfrentar es la ausencia de un manual de instrucciones para poder ponerlo en funcionamiento. Se contactó con el responsable de archivos corporativos del Museo Carl Zeiss AG, el Dr. Wolfgang Wimmer, quien nos pudo revelar documentos históricos acerca de nuestro modelo. Gracias a ello, se sabe que el modelo "Adept" (1934) [Figura 3] salió al mercado al mismo tiempo que el primer modelo "Lektor": el del Museo de la Geología [Figura 4], puesto que la base sigue la misma estructura. Consultando estos archivos se pudo comprobar que ya en diciembre de 1936, salió la versión de la Figura 2 con un ligero cambio en la base^[3].

Hay que señalar que la razón por la que el epidiascopio no se ha puesto nunca en marcha se debe precisamente a esta falta de instrucciones y a que se necesitaban dos cables de alimentación de los que faltaba uno de ellos, además de la ausencia de conocimiento sobre este aparato. Una vez solventado este problema, surge la duda de cuánta potencia debe tener la bombilla nueva. Con una de 100 vatios, se comprobó que era insuficiente, por lo tanto, se barajaron tres posibilidades: 250 w, 500 w y una luz tipo "led". A pesar del ruido del ventilador y la escasa iluminación, el epidiascopio funciona correctamente, aunque se deben tomar algunas precauciones con respecto al calentamiento del motor y al aspecto visual de la bombilla, pues su ennegrecimiento es signo de un desgaste muy acusado y se debe cambiar a tiempo.

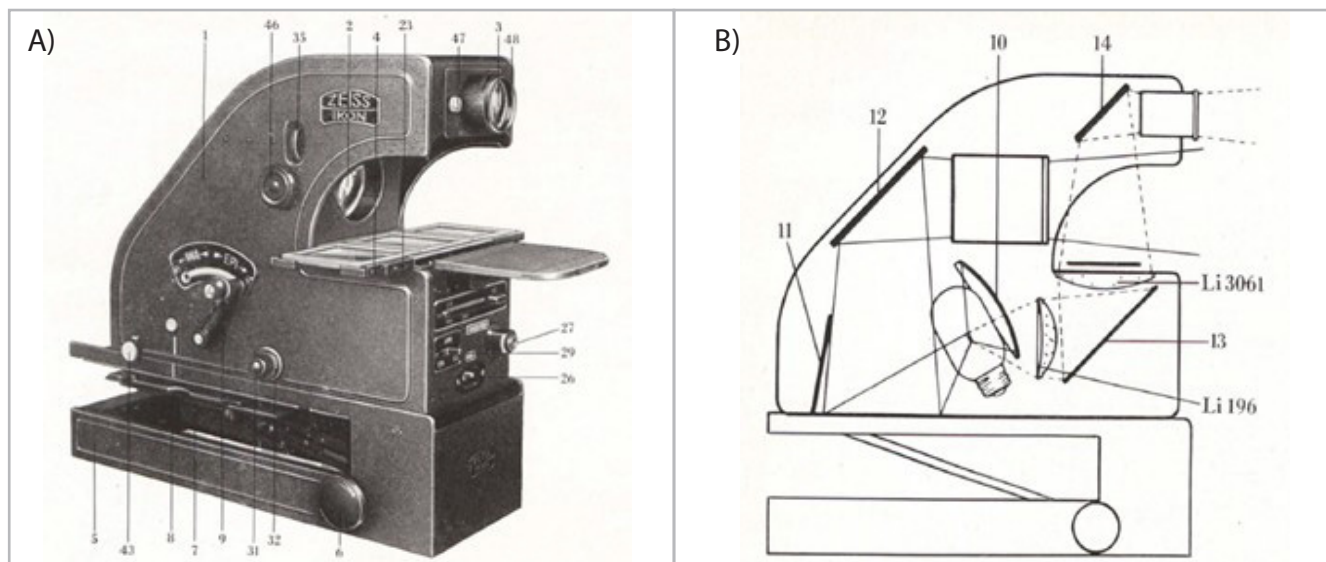


Figura 2.- "A) Segundo prototipo del modelo "Lektor". Fotografía del catálogo de Zeiss Ikon, Dresde, diciembre de 1936: 9. B) Sistema de lentes y espejos internos que proporcionan la imagen mediante la reflexión. Fotografía del catálogo de Zeiss Ikon, Dresde, junio de 1936: 10.



Figura 3.- Epidiascopio modelo "Adept" (1934). Fotografía del Museo Virtual Zeiss. Fuente de: <https://www.archive.zeiss.de/rech.FAU?sid=1E9475338&dm=2&auf=0>

Como se ha mencionado anteriormente, el aparato perteneció a D. Eduardo Hernández-Pacheco (1872-1965), profesor de geología en la Universidad Central de Madrid. Sus trabajos de campo y en el laboratorio, constituyen un importante legado fotográfico y documental albergado en la Universidad Complutense, en la Biblioteca Histórica Marqués de Valdecilla y en el Museo Nacional de Ciencias Naturales (Salvador 2018: 293-294). La existencia de esta colección fotográfica única, formada por alrededor de 13.000 piezas, dota al epidiascopio de un especial interés y puesta en valor, porque resultaba ser el medio docente utilizado para plasmar el contenido de sus diapositivas de vidrio.

Debido a que no se tiene constancia de ningún viaje del profesor a Alemania, el aparato pudo ser obtenido a través del Dr. Niemeyer (representante en España de Carl Zeiss Jena) cuya sucursal se localizaba en Madrid o por Carlos



Figura 3.- Epidiascopio de D. Eduardo Hernández-Pacheco de tubo de acero (Museo de la Geología, UCM), primera versión del modelo "Lektor". Fotografía de: Laura Díaz Moreno. Se aprecia el cambio en la estructura inferior tomada a su vez del modelo "Adept" (1934).

Ziesler (representante en España de la marca Zeiss Ikon) en los años 20 y 30. Estas figuras suministraban tanto instrumentos científicos de diferente tipología como cámaras fotográficas y de cine a instituciones y centros de investigación tal como figura en la Gaceta de Madrid (1935: 265):

"Remitente: Zeiss Ikon A. G. Dresden. Número de bultos: una caja p. b. 65 kilogramos y neto 34 kilogramos.

Marcas S. A., número 21.712.— Detalle del material: un Epidiascopio completo, modelo B, 1.450/10 número W. 38.151. Consignatario: Carlos Ziesler. Agente, E. Ponte y Compañía. —Destinatario: Instituto Nacional de Segunda enseñanza de Zamora.”

Sin embargo, además de este estudio sobre instrumentación científica dedicada a la docencia, se puede destacar por su importancia el monográfico “Using Historical Instruments in Contemporary Education” publicado por la “Scientific Instrument Commission (SIC)”, en el que, precisamente, se abordan aspectos tratados en este artículo como, por ejemplo, el uso de réplicas en talleres interactivos de la colección de instrumentos científicos del Museo de la Historia de la Ciencia de Ginebra (Cavicchi y Heering 2021: 1-13). De esta forma, se instruye a los alumnos hacia una educación científica e histórica más atractiva que el temario teórico.

Otros son la amplia labor de conservación y documentación de instrumental científico para la educación llevada a cabo por muchos Institutos Históricos, por ejemplo, en el San Isidro de Madrid.

Herramientas para la preservación, recuperación y difusión del patrimonio científico

Como se plasma anteriormente, existen opiniones muy diversas sobre cómo actuar en el patrimonio científico técnico. Muchas instituciones han optado por soluciones no destructivas que garantizan una protección y conservación óptima de los objetos originales. Se exponen a continuación algunas de estas herramientas.

—Reproducción

Según el diccionario de Patrimonio Cultural de España, el término hace referencia a “copia en cualquier tamaño y materia, obtenida generalmente por procedimientos mecánicos, aunque también existen reproducciones realizadas de manera artesanal. Las reproducciones pueden ser también calcos exactamente iguales en tamaño y materiales al original, a escala, ampliadas o reducidas” (Gómez, Cabezas y Copón 2005: 389).

Un ejemplo de reproducción de un objeto científico es el Péndulo de Foucault, construido en 1851, tras varios experimentos del astrónomo y físico Jean Bernard-León Foucault. Mediante la suspensión de una esfera de plomo y latón de un cable de acero ubicado en la cúpula de la que era la Iglesia de Santa Genoveva, demostró la rotación de la Tierra tras observar la oscilación en el sentido horario del péndulo. La esfera original y la fabricada en hierro para la Exposición Universal de 1855, se conservan en el Museo de Artes y Oficios de París que, además, custodia una copia en latón realizada por la empresa “Bodet” en 2015 con la que actualmente se realizan demostraciones del péndulo.

Otro ejemplo que se da a conocer en este artículo es el telescopio de Galileo (inv. 2428) del s. XVII, el instrumento italiano más replicado, conservado en el Museo Galileo de Florencia. Se contactó con la persona responsable de las colecciones del museo, D. Giorgio Strano, quien conoce las numerosas réplicas que se han elaborado de este instrumento. Desde el año 2008, se han fabricado seis réplicas por motivos de conservación, para préstamos en exposiciones, puesto que el original no puede salir del museo. Han sido dos los fabricantes: Jim & Rhoda Morris (tres réplicas de 2008-2009) y ArtesMechanicae (2023-2024). Sin embargo, como se trata de un objeto muy significativo, las réplicas también han sido realizadas para talleres didácticos y en la docencia con diferentes materiales al original de Galileo. De esta manera, se refleja el interés en preservar y dar a conocer su patrimonio científico.

El término “réplica” no coincide exactamente con nuestra terminología española. En Italia hace referencia a una reproducción de un original realizada de tal manera que se distinga claramente del original mismo. Si no fuera así, sería una falsificación o una posible falsificación. La réplica la puede hacer cualquiera. Sin embargo, nuestro diccionario de Patrimonio Cultural lo define como “copia exacta hecha por el autor o bajo su inmediata supervisión, pero que difiere de su modelo por los materiales, por sus dimensiones o por ambos a la vez” (Gómez, Cabezas y Copón 2005: 389). Por lo tanto, podríamos hablar de reproducción en nuestro caso.

Como último ejemplo, se muestra el gran telescopio de William Herschel reproducido a escala original en el Real Observatorio de Madrid (dependiente del Instituto Geográfico Nacional). D. Miguel Querejeta me trasladó algunas diferencias entre el original de Herschel y el conservado en el Real Observatorio. El telescopio original estaba construido con madera de roble inglés mientras que la reproducción cuenta con madera de teca, una tipología más resistente al deterioro por contacto con materiales metálicos. Asimismo, el espejo de bronce pesaba unos 200 kilos, mientras que el repuesto moderno pesa unos 40 kilos. De esta forma, se mantiene la escala y todos los detalles, pero los materiales han sido modificados.

Tanto en este apartado, como cuando se habla de réplicas, es importante señalar que la utilización de materiales modernos y ligeros, además de mejorar sus condiciones técnicas disminuyendo el peso y evitando la degradación del modelo original, favorece el reconocimiento de las partes añadidas, premisa abordada en el artículo 12 de la mencionada Carta de Venecia.

—Réplica

Según la terminología mencionada anteriormente, se describe un ejemplo de una simulación-réplica de un Electrómetro (c. 1910), perteneciente al antiguo Instituto

de Radiactividad y conservado actualmente en el ITEFI (CSIC).

Este objeto realizado originalmente con latón y aluminio poseía un manejo constante a principios del siglo XX para las medidas de la radiactividad de diversas sustancias. El uso, su mal estado de conservación y su extrema sensibilidad, propició la construcción de una réplica funcional que simulara el funcionamiento del Electrómetro. El objeto replicado se fabricó con materiales más ligeros como el PVC, el metacrilato, el aluminio y el cobre. De esta forma, se muestra en la actualidad en talleres o conferencias como la Semana de la Ciencia. Sin embargo, en este tipo de objetos, pueden aparecer limitaciones en la manipulación. Para imitar el movimiento del Electrómetro original, se debe conocer bien y poseer ciertas destrezas manuales pues, en este caso, podría contener incluso residuos de sustancias nocivas.

— *Nuevas tecnologías, métodos de realidad virtual*

Cuando se tienen un único objeto original, otra alternativa muy útil para preservar su integridad es acudir a las nuevas tecnologías. Esta opción ya se encuentra implementada en otros tipos de patrimonio, como en la pintura mural, a través de la proyección con *video mapping* de las pinturas murales de la iglesia de San Clemente de Tahull. Sin embargo, en patrimonio científico instrumental no se tienen referencias respecto al uso de estos recursos para idear el original.

— *Documentación*

Aunque este proceso no implica la realización de otro modelo idéntico o similar al instrumento original, la documentación es un sistema de gran utilidad para frenar la disociación o pérdida del patrimonio científico y evitar así que se convierta en un simple “cacharro”.

El Museo Nacional de Ciencias Naturales conserva la Colección de Instrumentos Científicos Históricos (ICH), en la que, a través de un catálogo digital que recoge toda la información de sus piezas, éstas quedan protegidas por un número de inventario único e intransferible (Osuna, Onrubia y Martín 2022).

Conclusiones

La muestra de ejemplos sobre instrumental científico en distintas colecciones demuestra que no se atienden a criterios o a pautas de conservación específicas. Cada responsable o institución, actúa siguiendo una metodología científica, ya que no se dedican a la conservación y restauración. Por ello, es de especial importancia la colaboración multidisciplinar entre el personal que conoce el mundo de la ciencia y los

profesionales dedicados al patrimonio. Todo objeto que haya sufrido el llamado “canibalismo” debe ser justificado y valorado previamente el riesgo que dicha acción va a suponer. Las premisas indicadas para realizar este proceso podrían incluirse en un futuro manual de intervención de patrimonio científico donde según las características históricas y técnicas de la pieza, se determinarán las recomendaciones más adecuadas para su conservación. Se podrían incluir los criterios para desechar un objeto o por el contrario, proceder a su restauración.

Esta investigación revela la diversidad de patrimonio científico instrumental existente y el desconocimiento de colecciones universitarias como la del Museo de la Geología. Solo se han localizado dos ejemplares idénticos del modelo “Lektor” de la marca alemana Zeiss Ikon A.G, por lo que el epidiascopio adquiere una importancia y singularidad única en este campo. El conocimiento sobre este tipo de aparatos nos muestra los avances científicos y tecnológicos que se han producido en nuestra sociedad.

Gracias al contacto con otras instituciones europeas, se han podido conocer algunas soluciones frente a la pérdida de este tipo de objetos. Las reproducciones y réplicas ofrecen una excelente opción para poner en valor el patrimonio científico, así como contribuir a su difusión y a su conservación, pues resulta obvio que el duplicado o simulación de un objeto provoca un mayor alcance de conocimiento en cualquier tipo de público como ocurre con el péndulo de Foucault. Sin embargo, queda mucho camino por recorrer hasta que las colecciones científicas sean tan visitadas y estudiadas como el patrimonio artístico.

Notas

[1] Se añade al documento un trabajo sobre protección de los metales del patrimonio científico- técnico del MuNCyT elaborado por el Grupo COPAC: <https://doi.org/10.3390/heritage6030130>

[2] Goniómetro: aparato que permite obtener medidas muy precisas de los ángulos entre las caras de los sólidos cristalinos.

[3] Aunque este modelo no es exactamente el del D. Eduardo Hernández- Pacheco, se adjuntan las siguientes imágenes para poder comprender la proyección de los sistemas diascopio y epidiascopio, ya que el funcionamiento es idéntico.

[4] En adelante ITEFI.

Agradecimientos

La presente investigación ha sido posible gracias al disfrute de la beca de Gestión, Conservación y Restauración del Patrimonio UCM concedida por el Vicerrectorado de Cultura, Deporte y Extensión Universitaria el pasado año. Asimismo, el apoyo de la Unidad de Gestión del Patrimonio Histórico de la Universidad Complutense de Madrid ha sido

fundamental para el acceso y contacto con las colecciones. La autora agradece a Esteban Moreno Gómez, coordinador del Plan de Identificación y Conservación de Instrumentos Científicos de Interés Histórico del CSIC; a Belén Muñoz García, directora del Museo de la Geología de la Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid; a Juan de Carlos, responsable del Legado Cajal; a Guillaume Delcourt, responsable del servicio de biblioteca y documentación del Museo de Artes y Oficios de París; a Miguel Querejeta López, doctor en astrofísica e investigador en el Real Observatorio de Madrid; al Dr. Wolfgang Wimmer, responsable de archivos corporativos del Museo Carl Zeiss AG de Jena, Alemania; y a Giorgio Strano, conservador de las colecciones del Museo Galileo de Florencia. La colaboración de dichas personas resulta trascendente para la redacción de este artículo.

Referencias

- BIOSCA, P. (2024). Una vuelta más del legado "olvidado" de Ramón y Cajal: se traslada al Museo de Ciencias Naturales de Madrid. <https://www.abc.es/ciencia/vuelta-legado-olvidado-ramon-cajal-traslada-museo-20230704195647-nt.html>. [consulta: 27-02-2024].
- BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1985-12534>. [consulta: 09-03-2024].
- BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. Ley 8/2023, de 30 de marzo, de Patrimonio Cultural de la Comunidad de Madrid. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2023-18316>. [consulta: 09-03-2024].
- CAVICCHI, ELIZABETH Y HEERING, PETER (2021). "Using Historical Scientific Instruments in Contemporary Education". En *Historical Scientific Instruments in Contemporary Education*, Brill, 1-13.
- COMITÉ INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO INDUSTRIAL (TICCIH). Carta de Nizhny Tagil Sobre El Patrimonio Industrial (2003). https://www.ge-iic.com/wp-content/uploads/2006/07/Carta_de_Nizhny_Tagil.pdf [consulta: 23-03-2024].
- CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS. *Plan de recuperación de Instrumentación Científica de Interés Histórico del CSIC*. <https://planinstrumentoshistoricos.csic.es/>. [consulta: 09-03-2024].
- DEL EGIDO RODRÍGUEZ, M., JIMÉNEZ ALBARRÁN, M.J. Y BAEZA CHICO, E. (2003). "Consideraciones para la conservación de las colecciones de Patrimonio Científico y Técnico". En *RdM. Revista de Museología: Publicación al servicio de la comunidad museológica*, Madrid: Asociación Española de Museólogos, 96-104.
- DÍAZ MORENO, L. (2024). *Consultazione su strumenti scientifici* [correo electrónico] a Strano, G. [8 abril 2024].
- DÍAZ MORENO, L. (2024). *Consulta sobre instrumental científico* [correo electrónico] a López Querejeta, M. [12 marzo 2024].
- DÍAZ MORENO, L. (2024). *Investigación de los materiales del péndulo de Foucault* [correo electrónico] al Museo de Artes y Oficios de París. [16 abril 2024].
- DÍAZ MORENO, L. (2024). *Objeto del Instituto L. Torres Quevedo* [correo electrónico] a Gómez Moreno, E. [25 abril 2024].
- GACETA DE MADRID. (1935). "Ministerio de Hacienda" en *Gaceta de Madrid. Diario Oficial de la República*, 11. <https://www.boe.es/gazeta/dias/1935/01/11/pdfs/GMD-1935-11.pdf>. [consulta: 06-05-2024].
- GÓMEZ MOLINA, J.J, CABEZAS GELABERT, L., Y COPÓN, M. (2005). *Los nombres del dibujo*. Madrid: Ediciones Cátedra. 576 páginas.
- GONZÁLEZ BUENO, A. (2003). "Museos de ciencia en las universidades: algunas reflexiones y una descripción". En *RdM. Revista de Museología: Publicación al servicio de la comunidad museológica*, Madrid: Asociación Española de Museólogos, 67-71.
- GUAL VÍA, M. (2018). "El conservador-restaurador de patrimonio industrial". En *Las Profesiones del Patrimonio Cultural: Competencias, formación y transferencia del conocimiento*, Galán-Pérez, A. M. y Pardo San Gil, D (coord.). Madrid: GE-ICC y ACRE, 93-94. <https://www.ge-iic.com/2024/07/24/monografico-las-profesiones-del-patrimonio-cultural/>
- JIMÉNEZ ALBARRÁN, M.J., DE LA LASTRA GONZÁLEZ, I., Y BARATAS DÍAZ, L.A. (2004). "El Museo Nacional de Ciencia y Tecnología: una visión panorámica del patrimonio científico técnico español". En *Actas VIII Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, Logroño: Universidad de La Rioja, Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas (SEHCYT), 121-140.
- JIMÉNEZ ALBARRÁN, M.J., DE LA LASTRA GONZÁLEZ, I., Y MARTÍN LATORRE, R.M. (2014). "Instrumentos científicos". En *Manual de documentación de patrimonio mueble*, Sevilla: Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo y Consejería de Educación, Cultura y Deporte. Proyecto Atalaya, 265-301. https://repositorio.iaph.es/bitstream/11532/300214/2/documentacion_patrimonio_arenillas_torrejon_manual_2014.pdf
- MORENO GÓMEZ, E. (2019). *Instrumentos de la ciencia española: los aparatos históricos del CSIC*. Madrid: Colección Divulgación. Editorial CSIC y Editorial Catarata.
- NEWAY, H. (2000). 'Conservation and the preservation of scientific and industrial collections', En *Studies in Conservation*, 45(1): 137-139. <https://doi.org/10.1179/sic.2000.45.Supplement-1.137> [consulta 07-10-2024].
- OSUNA, M.C., ONRUBIA, M., Y MARTÍN, C. (2022). *Catálogo de la Colección de Instrumentos Científicos Históricos*. Madrid: Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. https://digital.csic.es/bitstream/10261/261135/1/Catálogo_Colección_%20Instrumentos_Científicos_Históricos_del_MNCN.pdf

SALVADOR BENÍTEZ, A. (2018). "Fotografía científica y documentación del paisaje. El archivo fotográfico Hernández-Pacheco como modelo". En *II Jornadas sobre Investigación en Historia de la Fotografía: 1839-1939, un siglo de fotografía*, Zaragoza: Instituto "Fernando El Católico", 287-302.

DÍAZ CORTÉS, A., RAMÍREZ BARAT, B., LEAL PEREZ-CHAO, J., LLORENTE, I., DEL EGIDO, M., & CANO, E. (2020). Diagnóstico del estado de conservación de colecciones científico-técnicas: extintores históricos del MUNCYT. *Ge-Conservacion*, 18, 7-19. <https://doi.org/10.37558/gec.v18i1.771>

Autor/es



Laura Díaz Moreno
lauradiazmoreno@outlook.es
Universidad Complutense de Madrid

Graduada en Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural por la Universidad Complutense de Madrid en 2020 con máster en Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico por la Universidad Pablo de Olavide (2021-2023). Ha realizado prácticas en empresas privadas e instituciones públicas como el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CSIC) para desarrollar variables de evaluación en el test de Oddy. En 2021, recibió la décima posición entre los mejores graduados de España en Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural, por la Sociedad Española de Excelencia Académica (SEDEA). Actualmente se encuentra disfrutando de una beca de Gestión, Conservación y Restauración del Patrimonio Histórico de la Universidad Complutense, gracias a la cual, ha tenido acceso a la pieza más importante de este artículo. Interesada en la conservación del patrimonio científico y tecnológico, en particular, en el enorme legado que hemos recibido del premio Nobel, Santiago Ramón y Cajal.

Artículo enviado el 14/05/2024
Artículo aceptado el 21/01/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v27i1.1312>

Hacia una mejor comprensión del *foxing* en el papel: precursores, fuentes y características

Daniela Silvana Nitiu, Andrea Cecilia Mallo, Mario Carlos Nazareno Saparrat

Resumen: El papel es el soporte más usado en los registros históricos que puede sufrir transformación estética y mecánica generada por factores biológicos, químicos o físicos. Los efectos del deterioro pueden visualizarse a través de las manchas de *foxing*. El objetivo de esta revisión es brindar un panorama actual respecto de las diversas evidencias del origen del *foxing* en soporte papel dada la complejidad, poder de destrucción y mecanismos aún no dilucidados. Esta revisión propone postular la multicausalidad del *foxing* aplicando el concepto de "Triángulo de la enfermedad" atribuyendo el origen de este fenómeno a la acción de microorganismos, el entorno conductivo y las interacciones con el sustrato susceptible. El estudio de la naturaleza del *foxing* es un problema clave en la preservación del papel que debe considerarse prioritario en las estrategias de conservación de archivos y museos. Estudios experimentales multifactoriales son necesarios para facilitar la identificación precisa de la génesis de este proceso.

Palabras clave: manchas de *foxing*, papel, microorganismos, metales, ambiente

Towards a better understanding of *foxing* in paper: precursors, sources and characteristics

Abstract: Paper is the most commonly used medium for historical records, yet it is susceptible to aesthetic and mechanical transformations caused by biological, chemical, or physical factors. The effects of deterioration are often visible through *foxing* stains. The aim of this review is to provide an up-to-date overview of the various hypotheses regarding the origins of *foxing* on paper, given its complexity, destructive potential, and the mechanisms that remain unclear. This review proposes a multifactorial explanation for *foxing*, applying the concept of the "disease triangle" and attributing the phenomenon to the action of microorganisms, the conductive environment and interactions with the susceptible substrate. Understanding the nature of *foxing* is a key issue in paper preservation and should be considered a priority in conservation strategies for archives and museums. Multifactorial experimental studies are necessary to try to facilitate the precise identification of the genesis of this process.

Keywords: *foxing* stains, paper, microorganisms, metals, environment

Para uma melhor compreensão do *foxing* no papel: precursores, fontes e características

Resumo: O papel é o suporte mais utilizado nos registros históricos e pode sofrer transformações estéticas e mecânicas geradas por fatores biológicos, químicos ou físicos. Os efeitos da deterioração podem ser visualizados através das manchas de *foxing*. O objetivo desta revisão é fornecer uma visão atual das diversas evidências sobre a origem do *foxing* em suporte de papel, dada a sua complexidade, poder de destruição e mecanismos ainda não elucidados. Esta revisão propõe postular a multicausalidade do *foxing* aplicando o conceito de "Triângulo da doença", atribuindo a origem deste fenômeno à ação de microrganismos, ao ambiente propício e às interações com o substrato suscetível. O estudo da natureza do *foxing* é um problema-chave na preservação do papel que deve ser considerado prioritário nas estratégias de conservação de arquivos e museus. São necessários estudos experimentais multifatoriais para facilitar a identificação precisa da gênese deste processo.

Palavras-chave: manchas de *foxing*, papel, microrganismos, metais, ambiente

Introducción

"El libro es, sobre todo un recipiente donde reposa el tiempo" (Lledó, 2013).

El papel documenta gran parte de la historia de la Humanidad a través de las colecciones de libros y otros formatos, muchos de ellos incunables, que se conservan en archivos y bibliotecas. El papel, cuyo componente principal, es un material susceptible al deterioro y a la degradación debido a su composición química y fragilidad, requiere medidas prioritarias de conservación. Uno de los problemas que presentan los materiales confeccionados a base de soportes celulósicos o papel, es la aparición de las manchas de *foxing*. El deterioro por *foxing* de un sustrato celulósico proveniente de un objeto o documento con valor histórico es un fenómeno complejo que implica alteraciones del material debido a la acción de diversos organismos, que se desencadena bajo condiciones ambientales variadas y que depende también de las propiedades intrínsecas del papel (Álvarez Meza 2020).

De acuerdo con la teoría del "origen abiótico", las manchas de *foxing* son formadas por la acción oxidativa de compuestos de hierro, agentes reactivos del oxígeno y/u otros reactivos generados durante la producción de papel (Press 2001). Por otra parte, la teoría del "origen biótico" sobre el *foxing* propone que las manchas pueden estar formadas por compuestos de origen fúngico, incluyendo lípidos peroxidables (Karbowska-Berent *et al.* 2014), y productos derivados de la degradación de la celulosa (Florian 1996). No obstante, otros especialistas plantean una tercera opción en la cual consideran la simultaneidad de agentes en el proceso, incluyendo microorganismos e inclusiones metálicas como promotoras de este fenómeno (Choi 2007, Mina 2019).

En estas teorías, el papel como sustrato celulósico, ha sido tratado como un factor independiente en el proceso de *foxing*. Por este motivo, el presente manuscrito propone reinterpretar al *foxing* en el marco teórico del concepto de Triángulo de la Enfermedad, postulado por Islam (2017), el cual considera en su conjunto a todas las posibles interacciones entre 3 componentes claves del proceso, el sustrato, los factores ambientales y los potenciales agentes biológicos implicados.

Diferentes acepciones del término *foxing*

Hay numerosas acepciones del término *foxing* en las publicaciones especializadas. Entre las más difundidas, el término *foxing* proviene de la palabra *fox*, que significa zorro en inglés debido a la coloración de las manchas.

Desde 1930, especialistas en la Conservación Preventiva de patrimonio documental han intentado hallar el origen del *foxing* y establecer protocolos para su detección, prevención y tratamiento (Choi 2007). No obstante, a pesar de variados

intentos y numerosas investigaciones, las causas propuestas para su formación siguen en discusión. Ellis (1987) lo refiere a pequeños parches circulares de coloración pardusca que pueden aparecer misteriosamente en papel antiguo como moderno sin certezas de su formación. Según el Getty Art & Architecture Thesaurus (Petersen 1992), el término *foxing* representa a manchas pálidas, marrones y difusas que aparecen en el papel u otras superficies que presentan una amplia variedad de colores, formas y tamaños, pudiendo incluso estar caracterizadas según sus atributos físico-químicos (Mina 2019).

El espectro de material sobre el cual se diferencian las manchas de *foxing* es amplio, incluyendo material de libros antiguos (Beckwith *et al.* 1940), sellos postales (Nol *et al.* 1983, Bashan y Lifshitz, 1984), documentos de archivo (Buzio *et al.* 2004), fotos impresas (Ardizzone *et al.* 2008), telas (Mina 2019) y papeles impresos entre otros soportes deteriorados.

Cain *et al.* (1982) establecieron dos tipos principales de manchas relacionadas con su posible origen (abiótico o biótico) y su manifestación o desarrollo en el papel: *Bullseye*, que son manchas circulares y regulares de color marrón oscuro que contienen principalmente núcleos metálicos que no fluorescen ante la exposición a la radiación UV, que aparecen en la superficie del papel y que no migran de una página a otra (Bichieri *et al.* 2002); y *Snowflakes*, que son manchas de dimensiones mayores de color amarillento a rojizo, con capacidad para migrar de una página a otra con bordes irregulares que a menudo evidencian signos de actividad microbiana, como la detección de hifas y la diferenciación de esporomas (May y Jones 2006, Mina 2019, Arai 2000).

En este sentido, los pigmentos encontrados en el papel deteriorado pueden ser producidos y acumulados en diferentes estructuras que pueden diferenciarse, dependiendo del grupo taxonómico al que pertenecen y de su ecofisiología. Estos pigmentos pueden encontrarse en esporas, estructuras fructíferas y micelio, así como en estructuras somáticas de resistencia como los esclerocios. Además, los pigmentos fúngicos pueden ser secretados en el sustrato y propagarse lejos de la fuente de origen. (Pinzari y Montanari 2011, Szczepanowska y Cavaliere 2012). La coloración ocasionada por actividad fúngica puede ser, asimismo, un factor relevante en el deterioro del papel.

Interpretación del *foxing* a la luz del concepto de Triángulo de la Enfermedad

El triángulo de la enfermedad es el producto resultante de la interacción de tres elementos comunes: el hospedador, un agente etiológico (el patógeno) y el medio ambiente (Islam 2017). El triángulo sólo se completa cuando el hospedador es susceptible, el patógeno es virulento y el ambiente es favorable para el establecimiento de la

enfermedad (Agrios 2024). La interacción entre estos elementos conduce al desarrollo de la enfermedad, por lo tanto, para anularla, cualquiera de estos tres factores puede ser modulados. Dada la complejidad del fenómeno de *foxing* en soportes documentales en papel, se propone reinterpretar este proceso en el marco teórico del concepto de Triángulo de la Enfermedad utilizado en fitopatología. En la Figura 1, se puntualizan los factores involucrados, que serán posteriormente analizados con el objeto de predecir cuáles de ellos o sus combinaciones podrían explicar el origen del desarrollo del *foxing*.

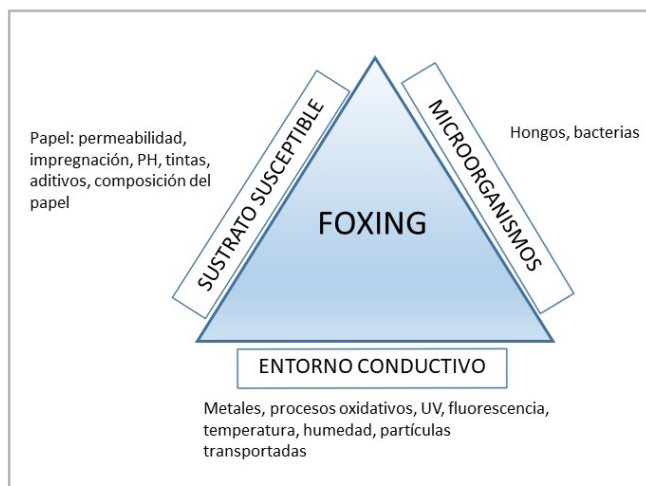


Figura 1.- Factores involucrados en el proceso de *foxing*.

Sustrato susceptible: el papel, un soporte clave para el desarrollo del *foxing*

El envejecimiento del papel conduce a acelerar los fenómenos de biodeterioro como el *foxing*, debido a varios factores relacionados con sus componentes y las condiciones a las cuales son expuestos.

• **Componentes del papel:** Los papeles antiguos suelen estar constituidos por materiales que aportan estructura debido a la presencia de celulosa y otros componentes vulnerables al ataque de microorganismos debido a varios factores:

Composición: la celulosa y la hemicelulosa son polisacáridos que, por previa despolimerización, pueden ser utilizados como fuente de carbono y energía por un amplio espectro de organismos como hongos y bacterias (Sampaolesi *et al.* 2023).

Accesibilidad: Aunque la celulosa y la hemicelulosa están protegidas por otras sustancias, como la lignina, resultan más accesibles a los microorganismos dado que el proceso de fabricación del papel, elimina ésta y otras sustancias, exponiendo a la celulosa y la hemicelulosa a su despolimerización. En este proceso se generan diferentes ácidos orgánicos que pueden acelerar la degradación, ocasionando el daño estético y estructural del papel (Mallo *et al.* 2017).

• **Aditivos y contaminantes:** La mayoría de las obras en papel contienen aditivos orgánicos que pueden ser utilizados como fuente de nutrientes y energía para los microorganismos. Se presentan algunos ejemplos: el almidón se utiliza como un aglutinante en la producción de papel mejorando las propiedades físicas y de manejo de la pasta, así como al proporcionar características deseables al papel final.

Las colas utilizadas en la encuadernación y en la fabricación de papel a menudo están formuladas a base de sustancias orgánicas que pueden ser atacadas por microorganismos y conducir a la desorganización de las fibras junto al desarrollo de colonias en la superficie del sustrato (Barbabetola *et al.* 2016).

Algunas tintas tienen constituyentes orgánicos que pueden ser utilizados como fuente de carbono y energía por los microorganismos. Asimismo, óxidos de hierro, azul de cobalto y compuestos orgánicos ricos en taninos y otros fenólicos pueden ser fuentes cromóforas de partida (Contreras 2022). Los fijadores y otros aditivos se utilizan para mejorar la adherencia de dichos pigmentos e incrementar las propiedades colorimétricas.

En cuanto a los contaminantes ambientales, éstos pueden jugar un rol importante en el deterioro del papel aportando sustratos como fuente de macro y micronutrientes utilizables por los microorganismos para su crecimiento en el papel (Cowling y Merrill 1966). La presencia de partículas como polvo, grasa y residuos también puede favorecer la dispersión y la colonización de microorganismos y constituirse en vehículo de esporas de hongos y bacterias que pueden germinar en el papel, en condiciones de alta humedad, iniciando el proceso de biodeterioro. [Figura 2]

Otro aspecto a tener en cuenta es el daño físico y químico. Los papeles pueden estar sujetos a daño físico, como desgarros y arrugas incluyendo ataques por insectos, que proporcionan áreas vulnerables para el desarrollo de microambientes que facilitan la colonización microbiana. Además, el daño químico, como la oxidación y la acidificación, puede debilitar las fibras del papel, haciéndolo más susceptible al biodeterioro (Abazi 2016). La colonización microbiana y la diferenciación de colonias sobre el papel depende en gran medida de la constitución y textura de la superficie del papel como también de la porosidad, higroscopicidad en el sustrato.

Microorganismos: agentes biológicos causantes del *foxing*

—*Los hongos y su actividad en el desarrollo de manchas de "foxing"*

El biodeterioro del papel causado por los hongos puede manifestarse principalmente a través de

dos mecanismos. Un mecanismo físico, debido a la diferenciación de micelio que coloniza el papel y abre la trama de fibras; y el deterioro químico generado por los hongos mediante la síntesis y liberación de enzimas extracelulares y metabolitos difusibles que conducen a la despolimerización y al deterioro estético de la trama del papel utilizado como fuente de nutrientes y energía (Ciferri 1999). Entre los hongos reportados como agentes principales involucrados en la formación de foxing en materiales de archivo se encuentran los representantes del Phylum Ascomycota correspondientes a la familia Eurotiaceae, con *Aspergillus* y *Penicillium* como dos de los géneros más frecuentes y abundantes en registros asociados a este tipo de manchas en el papel (Nieto-Fernandez *et al.* 2003, Karbowska-Berent *et al.* 2014, Mallo *et al.* 2017).

La actividad de los hongos en el papel se puede poner de manifiesto cuando aparecen manchas de diversos colores y formas. Las enzimas sintetizadas por diferentes especies de hongos cuando crecen a expensas del papel aceleran el proceso de celulólisis y de transformación de otros aditivos como los adhesivos, promoviendo la reducción de resistencia del papel asociado a un aspecto poroso y fragmentado. Los hongos que alteran la documentación en soporte papel, como aquellos de la familia Eurotiaceae, poseen una capacidad distintiva para tolerar condiciones adversas, lo que modula la diferenciación de estructuras de resistencia y/o de reproducción capaces de incrementar el efecto de deterioro sobre el papel (Nitiu *et al.* 2020). Entre estas estructuras, las esporas de los hongos ambientales se



Figura 2.- Señales físicas del foxing en libros conservados en la biblioteca "Dr. A. Pérez Aznar, Senado de la Provincia de Buenos Aires, Argentina" y representación de los tres puntos propuestos en el Triángulo. Sustrato susceptible: [A, B, C] Ejemplares de la biblioteca con notorias manchas de foxing en el papel. Microorganismos: [D] Identificación *in vitro* de *Cladosporium* sp. en el papel. Entorno conductivo: [E] Sitio de guarda con marcada presencia de desarrollo de humedad. [F] Papel afectado por humedad con evidencia de foxing. Copyright: las imágenes han sido tomadas por los autores en una investigación previa (Nitiu *et al.* 2017).

caracterizan por ser resistentes al calor, desecamiento y otras condiciones adversas. Estas unidades de dispersión les permiten mantenerse en estado de reposo hasta que encuentren una condición favorable para su germinación, iniciando la formación de micelio, mediante el cual captan todos los nutrientes disponibles en el medio para completar su ciclo de vida (Peña y Zambrano 2003).

De acuerdo con la teoría microbiológica sobre el origen del *foxing*, las manchas marrones oxidadas pueden derivar de compuestos fenólicos secretados por hongos ambientales que colonizan el papel (Karbowska-Berent *et al.* 2014); de la reacción de los productos de degradación de la celulosa con aminoácidos procedentes del micelio (reacción de Maillard; Arai 2000) o de la autooxidación de lípidos de origen fúngico (Florian 1996). [Figura 2]

Ciertos autores han detectado la acidificación del papel a nivel de las manchas de *foxing*, probablemente debido al metabolismo fúngico en el área afectada del papel (Karbowska 2014).

La coloración oscura de las manchas de *foxing* también se ha relacionado con la presencia de pigmentos específicos, incluidas las melaninas, que son dominantes en las paredes celulares de los hongos dematiáceos ambientales y que colonizan papel (Florian y Purinton 1995, Nieto-Fernandez *et al.* 2003, Nitiu *et al.* 2022). La mayor parte de las investigaciones realizadas por especialistas en Conservación sobre las manchas de *foxing* se centra en aquellas derivadas de la actividad fúngica. Sin embargo, la capacidad de muchas melaninas fúngicas para inmovilizar metales es compatible con un origen dual de manchas de *foxing* en el papel que implica simultáneamente la actividad microbiana y la reactividad inducida por metales (López *et al.* 2024). Florian (2002) describió el proceso por el cual las paredes celulares de los hongos sequestran oligoelementos como Fe, Cu y Zn y los quelan, generando posibles centros de reacción de procesos oxidativos, que involucran la producción de radicales libres.

Las manchas de *foxing* pueden identificarse por sus características fisicoquímicas, incluida su interacción con la radiación electromagnética, mostrando un espectro característico de absorción UV-visible y fluorescencia (Zotti *et al.* 2011). En base a estas respuestas espectroscópicas, la participación de las melaninas fúngicas ha sido relacionada a las manchas de *foxing*, tal vez como resultado de reacciones tipo Maillard, donde aminoácidos disponibles reaccionan con azúcares reductores para producir colores marrones. Este proceso puede iniciarse a partir de reacciones abióticas o a partir de subproductos del metabolismo de los hongos (ácidos orgánicos, oligosacáridos y compuestos proteicos) que reaccionan bajo condiciones específicas

como baja actividad del agua y alta temperatura y conducen a la formación de *foxing*. Este último desencadena la formación de productos marrones y reacciones oxidativas, probablemente resultando en la producción de melanoidina y la consecuente formación de manchas tipo *foxing*, compatible con la síntesis de melaninas heterogéneas (Bell y Wheeler 1986, Piñar *et al.* 2015, Toledo *et al.* 2017). Es de destacar que las melaninas fúngicas o sus precursores (que pueden actuar como sideróforos) y su interacción con el hierro dentro de la matriz del papel, pueden ser potenciales moléculas iniciadoras del desarrollo del *foxing*.

— Las bacterias y su contribución a la generación de “foxing”

Si bien el fenómeno de *foxing* es considerado principalmente debido a la actividad fúngica, investigaciones recientes han indicado también la participación de bacterias en el proceso (Dunka *et al.* 2014, Szulk *et al.* 2018, Stratigaki *et al.* 2024).

La detección de bacterias en estas manchas en colecciones de papel antiguo puede estar relacionada con condiciones ambientales favorables para su desarrollo, como humedad y temperatura. Aunque el rol de las bacterias en el proceso de *foxing* aún no está completamente comprendido, ello parece ser dependiente de varios factores ambientales, sumado a la participación de taxa bacterianos pertenecientes a *phyla* Actinobacteria y Proteobacteria (Stratigaki *et al.* 2024).

Estudios recientes han utilizado técnicas de secuenciación genética, fluorescencia y cromatografía líquida en asociación a espectrometría de masas para el análisis de muestras biológicas a nivel molecular con una alta sensibilidad y resolución para identificar bacterias asociadas con el biodeterioro. Se ha hallado una variedad de bacterias, Gram positivas y Gram negativas, que han sido postuladas por tener algún rol en la formación de estas manchas (Stratigaki *et al.* 2024).

Estas investigaciones subrayan la importancia de la contribución de las bacterias al *foxing* para desarrollar estrategias efectivas de conservación y preservación de materiales históricos y documentos en papel.

En la Tabla 1 se exponen publicaciones que han referenciado estudios de *foxing* en los que se evidencia la predominancia en el análisis de microorganismos en especial hongos y bacterias (factores bióticos), respecto de los compuestos inorgánicos (factores abióticos), quedando el análisis del sustrato papel y el entorno conductivo en general muy desdibujados.

Título de la publicación	Asignación de foxing	Materiales estudiados o tipos de daño en los sustratos	Color de manchas y otros criterios de biodeterioro	Hongos aislados en papel	Metodologías empleadas	Observaciones	Referencias bibliográficas
<i>Foxing caused by Fungi: twenty-five years of study</i>	Origen biótico	Pinturas decorativas del edificio principal de Hoodo en el Templo Byodoin (Japón)	Manchas marrones con micelio alrededor de fibras de papel	1. Hongos tonófilos absolutos, incluidos <i>Aspergillus penicillioides</i> y <i>Eurotium herbariorum</i> . 2. hongos tonófilos facultativos	Experimento de cultivo donde se muestra el foxing. Se analizaron varios tipos de papel que desarrollaron hongos en las áreas cubiertas de foxing.	El autor propuso el proceso para la formación de foxing a partir de microorganismos y polvo en pinturas	Arai 2000
<i>Conservation of paper documents damaged by foxing</i>	Origen biótico/abiótico	El papel presenta una compleja degradación física, química, biológica evidenciado por diferentes tipos de daño incluyendo el foxing y cambios de color causados por ataque biótico. Bullseyes y snowflakes están Presentes	Tono marrón rojizo o amarillento en la superficie del papel	<i>Trichoderma viride</i> , <i>Penicillium sp.</i> , <i>Aspergillus niger</i> y <i>Chaetomium sp.</i>	SEM-EDAX análisis. Investigaciones biológicas confirman el origen fúngico de biodeterioro en el papel.	Se proponen diferentes técnicas de conservación y restauración del patrimonio documental en papel	Ardelean & Melniciuc Puica 2013
<i>Foxing and Reverse Foxing: Condition Problems in Modern Papers and the Role of Inorganic Additives</i>	Origen abiótico	Se estudiaron obras de arte del siglo XX (litografías, xilografías, aguafuertes) bajo luz ultravioleta.	Manchas de color marrón rojizo, beige, naranja, rosa.		El tratamiento consistió en inmersión en agua desionizada con pH ajustado y aplanado. Se realizó examen con luz ultravioleta después del tratamiento.	Este artículo sugiere que los conservadores de papel comienzan a considerar el foxing como crecimiento o polimerización de cristales observados en las obras	Berthalan 2015
<i>Two samples: 1850 machine paper in good conditions and a dust jacket of 1939 book</i>	Origen abiótico	Papel de 1850 en buenas condiciones y sobrecubierta de un libro de 1939	Manchas de color amarillo pardusco y de color marrón oscuro		Espectroscopia ATR-FTIR y análisis ATM utilizando transformada de Fourier	Correlación entre los espectros FTIR y la morfología de la superficie del papel.	Buzio <i>et al.</i> 2004
<i>Study of the contaminating microbiota of old paper supports</i>	Origen biótico	Dos tipos de papel antiguo pertenecientes a una colección privada de Moldavia (Rumania): 1- un libro eclesiástico de finales del siglo XIX, y 2- un libro de 1870 con papel procedente de pasta de celulosa derivada de madera.	Manchas de color púrpura, amarillo, marrón, negro, rojo	Bacterias: <i>Bacillus sp.</i> , <i>Clostridium sp.</i> , <i>Pseudomonas sp.</i> Micrococcus sp. Hongos: <i>Penicillium sp.</i> , <i>Alternaria sp</i>	El método utilizado en este estudio fue la impresión sobre las partes atacadas del papel posteriormente transferidas a medios de cultivo específicos para bacterias y hongos.	Se aislaron 24 cepas bacterianas pertenecientes a los géneros citados. Se encontró contaminación bacteriana en la mayoría de las muestras, particularmente en las manchas de foxing	Dunca 2014
<i>Consideration about foxing stains in three paper collections ranging to 16th to 20th century. Portuguese artist's paper drawings from 1835 to 1975 belonging to the Biblioteca Nacional de Portugal</i>	Origen biótico y abiótico	Las manchas de foxing exhiben una morfología diversa según el origen del papel.	Pequeñas manchas anaranjadas, redondas y con un pequeño centro oscuro, o manchas de copo de nieve o grandes manchas marrones.	Los autores mencionan factores bióticos como causa de foxing pero no explicitan de qué tipo.	Observación bajo luz reflejada y transmitida y radiación UV.	Los autores sugieren que materiales similares desarrollaron manchas de foxing similares. La mayor incidencia está relacionada con los diferentes procedimientos de fabricación del papel y la presencia de compuestos como encolados gelatinosos, la presencia de lignina y un efecto sinérgico del hierro presente	Figueira <i>et al.</i> 2020
<i>Drawing "The Market in Gniev" by Leon Wyczółkowski from 1933</i>	Origen biótico	Presencia simultánea de manchas de foxing y numerosos depósitos creados por cleistotecios en el dibujo examinado	Manchas amarillo, amarillo - naranja. Blanco y capa esponjosa o polvorienta, ligeramente amarillenta. Manchas marrones claras.	<i>Eurotium repens</i> , <i>Eurotium rubrum</i> , <i>Aspergillus glaucus</i> , <i>Aspergillus versicolor</i> , <i>Penicillium solitum</i> <i>Westling var. solitum</i> , y <i>Penicillium decumbens</i> .	Aislamiento e identificación de microhongos	Los hongos encontrados son probablemente responsables de la formación de manchas de foxing porque secretan grandes cantidades de pigmentos amarillos, marrón anaranjado o marrón en los medios de cultivo.	Karbowska Berent <i>et al.</i> 2013
<i>Study of collections of old (16th–20th century) European books stored in the Rare Book Library of the Seoul National University in Korea.</i>	El objetivo de este proyecto fue realizar un registro digital rápido de una gran colección de libros afectados por foxing como referencia y medida de conservación preventiva.	Colecciones de libros europeos antiguos (siglos XVI al XX) almacenados en la Biblioteca de Libros Raros de la Universidad Nacional de Seúl en Corea.	Manchas analizadas mediante análisis digital de imágenes utilizando un software de procesamiento de imágenes recientemente desarrollado (PicMan).		En este estudio se utilizó un software de análisis y procesamiento de imágenes recientemente desarrollado para análisis cuantitativo y extracción de información.		Kim <i>et al.</i> 2019
<i>Paper Foxing Stains on a Historic Manuscript from the Early Qajar Era: Abiotic or Biotic Foxing?</i>	Origen abiótico	Bullseye tipo de foxing	Manchas naranja-marrón		Espectroscopia fluorescencia UV, μ XRF.	Según los autores, el foxing abiótico aumenta la oxidación de la celulosa.	Koochakzadei & Gharetapeh, 2021
<i>Imaging evaluation of local treatments for foxed papers'</i>	No refiere	Tres lotes diferentes de muestras de papel fueron tratado con diferentes agentes de blanqueo.	Tono marrón rojizo o amarillento en la superficie del papel	Se tomaron fotografías y se realizó observación microscópica óptica de los materiales. Para el tratamiento de blanqueo se utilizó peróxido de hidrógeno, permanganato de potasio y borohidruro de sodio.		Los resultados ópticos muestran que el peróxido de hidrógeno fue el tratamiento blanqueador más eficiente en la eliminación de manchas y no afectó al medio de encolado y en consecuencia las marcas de grafito no se alteraron.	Matos <i>et al.</i> 2017

<i>Stains versus colourants produced by fungi colonising paper cultural heritage: A review</i>	Origen biótico	Se realizó una revisión bibliográfica sobre las manchas fúngicas más comunes que aparecen en los papeles de patrimonio cultural	Manchas amarillo, rojo, naranja	<i>Aspergillus sp.</i> , <i>Penicillium sp.</i> , <i>Chaetomium sp.</i> , <i>Cladosporium sp.</i> , <i>Eurotium sp.</i> , <i>Alternaria sp.</i> , <i>Trichoderma sp.</i>	Se realizó una revisión bibliográfica sobre conservación de papel. Se identificaron y estudiaron las moléculas de colorantes producidas por hongos que pueden colonizar el patrimonio cultural de papel	En cuanto al estudio en el campo de la conservación del papel, se concluyó que los hongos más frecuentemente relacionados con la tinción del papel pertenecen a los géneros <i>Aspergillus</i> y <i>Penicillium</i>	Melo et al. 2018
<i>Isolation of fungal species from test samples and maps damaged by foxing, and correlation between these species and the environment</i>	Origen biótico	20 Muestras de papel con foxing datadas entre los siglos XVII y XX	Manchas oscuras centradas, manchas marrón pálidas generalizadas, manchas esféricas pálidas	<i>Chaetomium globosum</i> , <i>Ch. gracile</i> , <i>Eurotium pseudoglaucom</i> , <i>Ulocladium botrytis</i> , <i>Fusicladium sp.</i> , <i>Cladosporium sphaerospermum</i> , <i>Epicoecum purpurascens</i> , <i>Oidiodendrum citrinum</i> , <i>Oidiodendrum majus</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>P. decumbens</i> , <i>Trichoderma spp.</i>	Observación de foxing en luz normal, ultravioleta y fluorescencia. Análisis micológico por método de cultivo.	Este estudio confirma la correlación entre los parámetros termohigrométricos y el lugar de conservación y una relación entre el medio ambiente y las especies de hongos	Montemartini Corte et al. 2003
<i>A set of six different foxed paper samples from the 20th century were obtained from the paper conservation studio of the José de Figueiredo Conservation Laboratory in Lisbon</i>	Características bióticas, químicas y físicas del papel.	Seis muestras de papel del siglo XX conteniendo manchas de foxing	Foxing marrón oscuro con diversas formas.	4 especies de <i>Penicillium</i>	Enfoque no destructivo multianalítico mediante imágenes fotográficas y MO, SEM-EDS, ATR-FT-IR, EDXRF. Caracterización microbiológica	La presencia de múltiples sideróforos puede explicarse por el proceso de fabricación de los papeles. Los autores dan una importancia sustancial a la disrupción y desorganización estructural del papel en las zonas con foxing.	Nunes et al. 2015
<i>Isolation and attempts of biomolecular characterization of foxing strains associated to foxing on a 19th century book</i>	Origen biótico	Se estudiaron muestras de un libro del Dr. Eduard Zeller titulado "Philosophie der Griechen, eine untersuchung", impreso en Alemania y publicado en 1852	Gran cantidad de manchas marrones.	14 grupos de hongos pertenecientes principalmente a los siguientes géneros: <i>Aspergillus</i> , <i>Bjerkandera</i> , <i>Chaetomium</i> , <i>Gloeotinia</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Polyporus</i> , <i>Saccharicola</i> , <i>Trichoderma</i> y <i>Ulocladium</i>	Las técnicas de PCR, clonación y técnicas basadas en secuencias ITS de ADN permiten recopilar gran cantidad de información sobre la comunidad fúngica de áreas manchadas en papel viejo	Algunas de las especies identificadas nunca han sido aisladas en documentos, superficies o en la atmósfera de las zonas de almacenamiento. Su presencia en las zonas manchadas puede aportar nueva información y proporcionar datos para un mayor debate sobre el origen biológico del foxing	Rakotonirainy et al. 2007
<i>Contribution to the characterization of foxing stains on printed books using infrared spectroscopy and scanning electron microscopy energy dispersive spectrometry</i>	Origen biótico	Muestras de 9 libros impresos publicados entre 1823 y 1963 y dañados por foxing	Amarillento a marrón pálido. Snowflake foxing	<i>Thricoderma viride</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i>	Espectroscopía infrarroja y microscopía electrónica de barrido espectrometría de energía dispersiva	Los libros estudiados mostraron claramente la presencia de grupos de esporas y micelios en las áreas teñidas.	Rakotonirainy et al. 2015
<i>Analysis of paper foxing by newly available omics techniques</i>	Origen biótico/abiótico	Se obtuvieron tres muestras diferentes de papel con manchas de foxing y áreas sin manchas de materiales de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Nicolás Copérnico de Toruń (Polonia).	Manchas de color marrón amarillento con bordes irregulares	Géneros de Bacterias: <i>Gluconobacter</i> , <i>Ralstonia</i> , <i>Delftia</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Burkholderia</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Lysinibacillus</i> , <i>Brevibacillus</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Propionibacterium</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Corynebacterium</i> . Géneros de Hongos: <i>Saccaromyctales</i> (<i>Saccaromyces</i>), <i>Cladonia</i> , <i>Phoma</i>	Estudio en base a métodos ómicos, incluida la metagenómica a través de secuenciación de alto rendimiento en la plataforma Illumina y la metabolómica a través de imágenes de espectrometría de masas de tiempo de vuelo con desorción/ionización láser asistida por superficie de alta resolución (SALDI-ToF-MS) utilizando el método de objetivo mejorado con nanopartículas de oro (AuNPET)	El foxing es el resultado de un efecto combinado de la acción microbiana, la degradación del papel por microbios, la producción de tintes y los cambios químicos que ocurren en el papel debido a la oxidación de los metabolitos de la celulosa.	Szulk et al. 2018
<i>Fungal and bacterial species richness in biodeteriorated seventeenth century Venetian manuscripts</i>	origen biótico	Se analizan cartas históricas manuscritas del siglo XVII almacenadas en la biblioteca del Museo Correr. en Venecia, Italia, que exhibe signos pronunciados de biodeterioro.		29 grupos de Hongos y se destacan: <i>Chaetomium globosum</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Penicillium sp.</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>Neurospora crassa</i> , 11 grupos de Bacterias que se destacan: <i>Mesorhizobium japonicum</i> , <i>Brucella ovis</i> , <i>Candida albicans</i> .	Se utilizó microscopía estereoscópica, óptica, de fluorescencia y electrónica de barrido, SEM, nano-LC-MS, espectrometría de masas	Este artículo revela una gran microbiota en el papel la cual fue analizada por múltiples estudios. Revela nuevas especies de hongos y bacterias asociadas al biodeterioro como así también patógenos humanos	Stratigaki et al. 2024
<i>Mycological and FTIR analysis of biotic foxing on paper substrates</i>	Origen biótico	Passepartout, obra de arte del siglo XX, cartón soporte también passepartout. Superficie del cartón sin encolado gelatinoso.	Manchas de color rojo pardusco pálido	<i>Cladosporium sphaerospermum</i> Penz; <i>Aspergillus melleus</i> Yukawa; <i>Aspergillus purpurogenum</i> Stoll; <i>Aspergillus sclerotium</i> G.; <i>A. Huber</i>	Espectroscopía FTIR-ATR y estudios micológicos. Identificación de hongos residuales y subproductos.	De acuerdo con este artículo, los resultados del uso de esta técnica confirman el origen biótico del foxing	Zotti et al. 2011

Tabla 1.- Publicaciones donde se asignan diversos orígenes del foxing en papel. Características del biodeterioro y metodologías empleadas.

Entorno conductivo: el medio ambiente como factor detonante del desarrollo del foxing

—El metal como agente promotor del foxing

De acuerdo con la teoría del hierro, las manchas de *foxing* pueden ser formadas por la oxidación de los compuestos de hierro presentes en el papel y derivados del agua o por reactivos involucrados en la elaboración de papel o hierro procedente de elementos en las máquinas de producción (Tang 1978), sin embargo, esta hipótesis abiótica no ha sido confirmada como la propuesta dominante para la formación del *foxing* (Press 2001).

La contaminación de la matriz del papel por metales puede provenir del proceso de fabricación de papel o del polvo en el aire. Cabe señalar que el polvo en el aire puede contener hasta el 15% de hierro del componente inorgánico (Rebrikova y Manturovskaya 2000).

Metales como hierro, estaño, cobre y sus aleaciones como cobre-mercurio o cobre-zinc o latón han sido reportados como claves en la formación de las manchas de *foxing*. Muchos de estos hallazgos probablemente procedan de tintas ferrogálicas, que han sido ampliamente utilizadas en impresiones antiguas (Cain *et al.* 1982, Kenjo *et al.* 1987, Tang 1978, Tang y Toyer 1981, Daniels y Meeks 1994, Contreras 2022). [Tabla 1].

Estos metales han sido identificados usando escaneo de microscopía electrónica y rayos X de dispersión de energía (SEM o SEM/EDX), o fluorescencia de rayos X (XRF). El uso de espectroscopia de absorción atómica reveló que el contenido de metal localizado en las manchas de *foxing* en papel debe superar la concentración de 500 ppm para el hierro y 50 ppm para el cobre para causar *foxing* (Tang 1978, Tang y Toyer 1981, Cain *et al.* 1982, Kenjo *et al.* 1987). Los iones de metales de transición, como el Fe (II) y el Cu (I), actúan como catalizadores de la oxidación de la celulosa (Choi 2007), fenómeno activado bajo condiciones de alta humedad relativa (Tang 1978). Rebrikova y Manturovskaya (2000) llamaron la atención sobre este efecto catalítico. Su hipótesis es que el envejecimiento del papel se acelera en las zonas oxidadas debido a la acción catalítica de metales de transición a través de la formación de radicales libres.

Se ha demostrado también que la intensidad de coloración de las manchas de *foxing* es directamente proporcional a la concentración de hierro, e inversa al brillo y a la fragilidad del papel (Matos 2017).

En base a la contribución del cobre en la formación de manchas de *foxing*, se ha mostrado que las manchas inducidas por este metal tienen una coloración más difusa, no diferenciando un núcleo y alcanzando tamaños de hasta 5 mm de diámetro comparado a las asociadas al hierro (Book and Paper Group Wiki, 1992). En este sentido, Rebrikova y Manturovskaya (2000) relacionaron estas diferencias a que los iones de cobre desencadenan

un mayor efecto catalítico que los iones de hierro, tal vez generando un mayor efecto oxidante, lo que se manifiesta en la coloración menos intensa de las manchas de *foxing*.

Movimiento del hierro en el papel mediado por hongos

Diversos autores (Cain *et al.* 1982) han reportado la actividad fúngica en el papel en estrecha relación con la acumulación de inclusiones metálicas, tal como lo propuso desde un principio Iiams y Beckwith (1935). Su hipótesis propone que los hongos al degradar la celulosa, acidifican la matriz y esta condición moviliza sales de hierro disponibles como impurezas presentes en la mayoría de los papeles generando la precipitación de sales ferrosas orgánicas que, con el tiempo se oxidan y originan acúmulos de óxidos o hidróxidos de hierro.

Hey (1983) amplió esta idea, sugiriendo que, bajo condiciones de alta humedad, la reacción sinérgica entre hongos y metales continua hasta conducir vía acidificación a la inactivación de los hongos en el proceso. Gallo (1992) apoyó esta sugerencia de Hey y consideró como factores etiológicos del *foxing* a los hongos, los metales y el medio ambiente, acorde a la presente propuesta del triángulo del *foxing* o enfermedad del papel.

Algunos cambios naturales en la coloración del papel también pueden resultar de la oxidación directa de metales, transformaciones físico-químicas de sus componentes (como compuestos aromáticos de tipo lignina) debido al tiempo, así como la reactividad química de la autooxidación inducida por un aumento de la humedad relativa, provocando una transformación colorimétrica de la matriz en el interfaz húmedo/seco de la superficie del papel (Ardelean y Melniciuc-Puică 2013). En este punto, vale la pena destacar la interacción de los tres factores propuestos por el Triángulo de *foxing* (sustrato, entorno conductivo y patógenos) que en estos fenómenos se hace explícitamente visible.

Incidencia de los factores ambientales en las propiedades del papel

Diferentes factores ambientales pueden influir en el proceso de biodeterioro por *foxing* incluyendo la humedad, la temperatura, la luz y la contaminación del aire (Florian 2002). La humedad elevada puede promover la actividad de hongos y bacterias en el papel, lo que puede acelerar el proceso de *foxing* (Rakotonirainy 2007). La temperatura también puede afectar el crecimiento de estos microorganismos, así como la velocidad de las reacciones químicas que pueden causar el deterioro del papel. La exposición a la luz ultravioleta puede acelerar la descomposición del papel y la tinta, lo que puede, además, contribuir al *foxing*.

Es común visualizar este fenómeno a partir de cambios fisicoquímicos en papeles que han estado expuestos a

alta humedad, condensación y evaporación de la misma (Balloffet *et al.* 2005). El aumento del contenido de agua en el papel puede facilitar la actividad de microorganismos y la activación de reacciones fisicoquímicas que conduzcan a la degradación oxidativa de la celulosa, generando el desarrollo de núcleos de color o el *foxing*. La coloración asistida por condensación localizada de humedad ocurre preferentemente en áreas amorfas del papel en lugar de las cristalinas, ya que las primeras son más porosas y susceptibles a la colonización fúngica y acción de despolimerización de celulosa, tal vez debido a ser más higroscópicas que las áreas no afectadas siendo el sitio de inicio del desarrollo del *foxing* (Peters 2000, Choi 2007).

Consideraciones finales

Como se ha podido analizar, el fenómeno de *foxing* en papel implica una compleja trama de interacciones entre el ambiente, el sustrato y los diferentes microorganismos involucrados en el proceso, que aún no ha sido completamente aclarada. Desafortunadamente, la mayoría de las investigaciones publicadas sobre el *foxing* no brindan información precisa y completa sobre la génesis y la proliferación de las manchas al describir el *foxing*. Analizándolo en el contexto del triángulo de enfermedad, es posible visualizar la influencia clave que distintos factores pueden tener simultáneamente en la formación de *foxing*, ya sea por efecto de los factores bióticos, abióticos o ambos y por mecanismos de acumulación de compuestos de distinto origen; sean reacciones abióticas o de subproductos del metabolismo fúngico, que podrán conducir o no al desarrollo del fenómeno.

Dada la complejidad de los fenómenos involucrados en el biodeterioro de papel por *foxing* que se han expuesto en esta revisión, se han establecido líneas futuras de investigación a partir de estudios experimentales con probetas de papel y simulación de diversas condiciones de los agentes disparadores a fin de identificar las reacciones de iniciación del *foxing*. Estos estudios adicionales permitirán identificar la contribución relativa de los factores planteados en las diferentes hipótesis, siendo probablemente una plétora de procesos abióticos y bióticos y sus posibles interacciones.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada parcialmente por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de Argentina a través de los proyectos PICT 2019-00207 (M.C.N. Saparrat) y PICT 2021 Aplicados CAT II 00036, el CONICET a través del proyecto PIP 11220200100527CO (MCN Saparrat) y la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina, a través del Proyecto I+D N1019 (D.S. Nitiu) y A344 (M.C.N. Saparrat).

Referencias

- ABAZI, D. (2016). "Analytical evaluation of paper degradation". Tesis m34315. Universidade de Evora (Portugal) Pro Quest Dissertations & Theses, 28759023.
- AGRIOS, G. (2024). "Plant Pathology". Sixth Edition. Elsevier Academic Press. <http://doi.org/10.1016/C2019-0-04179-9>
- ALVAREZ MEZA, D.M. (2020). "Estudio y eliminación de las manchas de foxing". Trabajo Final Master. Facultad de Bellas Artes, Barcelona. 100p.
- ARAI, H. (2000). "Foxing caused by Fungi: twenty-five years of study". *International of Biodeterioration and Biodegradation* 46: 181-188.
- ARDELEAN, E. y MELNICIUC-PUICĂ, N. (2013). "Conservation of paper documents damaged by foxing". *European Journal of Science and Theology*, 9 (2): 117-124.
- ARDIZZONE, H., DINDO, G. y MAZZOLA, M. (2008). "A set of low-level descriptors for images affected by foxing," 16th European Signal Processing Conference, Lausanne, Switzerland, 1-5.
- BALLOFFET, N. (2005). Preservation and conservation for libraries and archives. American Library Association. eBIS-09070376.
- BARBABIETOLA, N., TASSO, F., ALISI, C. MARCONI, P., PERITO, B., PASQUARIELLO, G., SPROCATTI, A.R. (2016). "A safe microbe-based procedure for a gentle removal of aged animal glues from ancient paper". *International Biodeterioration and Biodegradation*, 109, 53-60. <http://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.12.019>.
- BASHAN, Y. y LIFSHITZ, R. (1984). "Foxing in Stamps: Long-term Effect of Sterilization and Treatment with NaCl, System". *Applied Microbiology*, 5:564-569.
- BECKWITH, T.D., SWANSON, W.H. y IAMS, T.M. (1940). "Deterioration of Paper: The Cause and Effect of Foxing". *Publications in Biological Science*, 1(13):299-356. University of California.
- BELL, A.A., y WHEELER, M.H. (1986). "Biosynthesis and functions of fungal melanins". *Annual Review of Phytopathology*, 24: 411-451.
- BERTHALAN, S. (2015). "Foxing and Reverse Foxing: Condition Problems in Modern Papers and the Role of Inorganic Additives". *The Book and Paper Group Annual* 34: 13-22.
- BICCHIERI, M., RONCONI, S., ROMANO, F.P., PAPPALARDO, L., CORSI, M., CRISTOFORETTI, G., LEGNAIOLI, S., PALLESCI, V., SALVETTI, A. y TOGNONI, E. (2002). "Study of foxing stains on paper by chemical methods, infrared spectroscopy, micro-X-ray fluorescence spectrometry and laser induced breakdown spectroscopy". *Spectrochimica Acta, Part B – Atomic Spectroscopy*. 57(7):1235-1249. [http://doi.org/10.1016/S0584-8547\(02\)00056-3](http://doi.org/10.1016/S0584-8547(02)00056-3)
- BOOK AND PAPER GROUP WIKI, (1992). Book and Paper Group Wiki - MediaWiki (conservation-wiki.com).

- BUZIO, R., CALVINI, P., FERRONI, A. y VALBUSA, U. (2004). "Surface analysis of paper documents damaged by foxing". *Applied Physics A*, 79: 383-387. <http://doi.org/10.1007/s00339-004-2540-2>
- CAIN C., MILLER E. y MILLER M. A. (1982). "Photographic, spectral and chromatographic searches into the nature of foxing". *American Institute for Conservation (AIC) 10th Annual Meeting*, Milwaukee, Wisconsin, May 26-30. AIC preprints: 54-62.
- CHOI, S. (2007). "Foxing on paper: a literature review", *Journal of the American Institute for Conservation* 46(2):137-152. <https://doi.org/10.1179/019713607806112378>.
- CIFERRI, O. (1999). "Microbial degradation of paintings". *Applied Environmental Microbiology*, 65: 879-885. <https://doi.org/10.1128/AEM.65.3.879-885.1999>.
- CONTRERAS, G.M. (2022). "Evolución de la composición de las tintas ferrogálicas a través de las fuentes documentales de los siglos XIII al XIX". *Meridies. Estudios de Historia y Patrimonio de La Edad Media*, (13), 34-67. <https://doi.org/10.21071/meridies.vi13.14250>.
- COWLING, E.B. y MERRILL, W. (1966). "Nitrogen in wood and its role in wood deterioration". *Canadian Journal of Botany*, 44(11): 1539-1554. <https://doi.org/10.1139/b66-167>.
- DANIELS, V. y MEEKS, N.D. (1994). "Foxing Caused by Copper Alloy Inclusions in Paper." Proceedings of Symposium 88, *Conservation of Historic and Artistic Works on Paper*. Ottawa: Canadian Conservation Institute, 229-233.
- DUNCA, S.I., TANASE, C., PADURARIU, C., BALAES, T., ARDELEAN, E. y PIUCA, N.M. (2014). "Study of the contaminating microbiota of old paper supports". *European Scientific Journal September 2014 /SPECIAL/ edition Vol.3* ISSN: 1857-7881 (Print) e - ISSN 1857-7431.
- ELLIS, M. G. (1987). "The care of prints and drawings". American Association for State and Local History Book Series, Rowman Alta Mira Press, USA.
- FIGUEIRA, F., MATOS, M., NUNES, A., AFONSO, M., ROCHA, A.C., CAMPELO, J. y FERREIRA, T. (2020). "Considerations about foxing stains in three paper collections ranging from the 16th to the 20th century". *Conservar Patrimonio* 35. <http://doi.org/10.14568/cp2019022>.
- FLORIAN, M.L.E. y PURINTON, N. (1995). "Determination of location of stains in fungal spots and enzymatic removal of pigmented hyphae in paper". In *Biodeterioration of Cultural Property 3: Proceedings of the 3rd International Conference on Biodeterioration of Cultural Property*, 414-425. Bangkok, Thailand: Conservation Science Division, Fine Arts Dept.
- FLORIAN, M.L.E. (1996). "The role of the conidia of fungi in fox spots". *Studies in Conservation* 41: 65-75.
- FLORIAN, M.L.E. (2000). "Fungal Fox Spots and Others". In Ciferri O., Tiano, P. and G. Mastromei (Eds): *Of Microbes and Art: The Role of Microbial Communities in the Degradation and Protection of Cultural Heritage*, 135-151. New York: Kluwer Academic/ Plenum Publishers.
- FLORIAN, M.L.E. (2002). *Fungal Facts: Solving Fungal Problems in Heritage Collections*. London: Archetype Publications, London: 1-146.
- GALLO, F. (1992). "Il biodeterioramento di Libri e Documenti". *Centro di Studi per la Conservazione della Carta*, ICCROM Roma, 128.
- HEY, M. (1983). "The antiquarian book". *Mon rev.* 10:341. In Ardelean E, Melniciuc Puică N. 2013. *Conservation of paper documents damaged by foxing*. *Eur J Sci Theol.* 9:145-154.
- ILIAMS, T.M. y BECKWITH, T.D. (1935). "Notes on the causes and prevention of foxing in books". *Libr Q.* 5:407-418. [10.1086/613729](https://doi.org/10.1086/613729).
- ISLAM, W. (2017). "Plant diseases epidemiology: Disease triangle and forecasting mechanisms in highlights", *Hosts and viruses* 5 (1): 7-11.
- KARBOWSKA-BERENT, J., JARMILKO, J. y CZUCZKO, J. (2014). "Fungi in fox spots of a drawing by Leon Wyczółkowski" *Restaurator*. 35:159-179, <http://dx.doi.org/10.1515/res-2014-1000>.
- KENJO, T., ARAI, H. y SUZUKI, T. (1987): "Application of Scanning Electron Microscope in the Field of Conservation Science of Cultural Properties". *JEOL news, Electron Optic Instruments / Application*, 25E (1): 13-1.
- KIM, G., KIM, J.G., KANG, K. y YOO, W.S. (2019). "Imagen-Based Quantitative Analysis of Foxing Stains on old printed paper documents". *Heritage*. 2: 2665-2677. <http://doi.org/10.3390/heritage2030164>.
- KOOCHAKZAEI, A. y ALIZADEH GHARETAPEH, S. (2021). "Paper Foxing Stains on a Historic Manuscript from the Early Qajar Era: Abiotic or Biotic Foxing?". *Heritage* 4:1366-1374. <https://doi.org/10.3390/heritage4030074>.
- LOPEZ, R.O., CHIOCCIO, V.M., RUSCITTI, M.F., TABORDA PELLESCI, C. y SAPARRAT, M.C.N. (2024). "Towards a better understanding of melanins from dark septate endophytes (DSEs): their variability, synthesis pathways and biological roles". *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. <http://doi.org/10.1007/s42729-024-01693>.
- MALLO, A.C., NITIU, D.S., ELÍADES, L.A. y SAPARRAT, M.C.N. (2017). "Fungal degradation of cellulosic materials used as support for cultural heritage". *International Journal of Conservation Science*. 8(4): 619-632.
- MATOS, M., FIGUEIRA, F. y FERREIRA, T. (2017). 'Imaging evaluation of local treatments for foxed papers', in *Proceedings of Intangibility Matters: International Conference*. Eds. Eds. M. Menezes, D. Costa, J. Rodrigues, LNEC, Lisbon 335-344
- MAY, E. y JONES, M. (2006) (eds). *Conservation Science: Heritage Material*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, p. 48.
- MINA, L. (2019). "Foxy Underpants: Or the use of chelators and enzymes to reduce foxing stains on early nineteenth century men's linen underpants". *Journal of the American Institute for Conservation*, 1-15. <http://doi.org/10.1080/01971360.2019.1674604>.

- MONTEMARTINI CORTE, A., FERRONI, A. y SARAH SALVO, V. (2003). "Isolation of fungal species from test samples and maps damaged by foxing, and correlation between these species and the environment". *International Biodeterioration and Biodegradation*, 51(3):167-173. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(02\)00137-3](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(02)00137-3).
- NIETO-FERNANDEZ, F., CENTENO, SA., WYPYSKI, MT. DI BONAVENTURA, M.P., BALDWIN, A.M. y KOESTLER, R.J. (2003). "Enzymatic approach to removal of fungal spots from drawings on paper". In Koestler, R.J., Koestler, V.H., Charola, A.E., Nieto Fernandez, F. (Eds): *Art, Biology and Conservation: Biodeterioration of Works of Art*, 111-127. New York: Metropolitan Museum of Art.
- NUNES M, RELVAS C, FIGUEIRA F, CAMPELO, J., CANDEIAS, A., CALDEIRA, A.T. y FERREIRA, T. (2015). "Analytical and Microbiological Characterization of Paper Samples Exhibiting Foxing Stains". *Microscopy and Microanalysis* 21(1):63-77. <http://doi.org/10.1017/S143192761500001X>.
- NITIU, D.S., SAPARRAT, M.C.N., MALLO, A.C., ELIADES, L.A., SAGASTI, R. y VALLE, M.H. (2017). Una experiencia de diagnóstico del estado de conservación de una Colección Privada de la ciudad de La Plata. I Congreso Iberoamericano de Museos Universitarios y II Encuentro de Archivos Universitarios. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/70299>
- NITIU, D.S., MALLO, A.C. y SAPARRAT, M.C.N. (2020). "Fungal melanins that deteriorate paper cultural heritage: An overview". *Mycologia*, 112(5), 859–870. <https://doi.org/10.1080/00275514.2020.1788846>.
- NITIU, D.S., MALLO, A.C. y SAPARRAT, M.C.N. (2022). "Pigmentos sintetizados por hongos negros y su impacto en el deterioro del patrimonio documental en papel". *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 57 (2): 169-184. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v57.n2>
- NOL, L., HENIS, Y. y KENNETH, R.G. (1983): "Biological Factors of Foxing in Postage Stamp Paper". *International Biodeterioration Bulletin*, 19: 19-25.
- PETERSEN, T. (1992). *Art and Architecture Thesaurus*. Vol. 2 part III. Getty Art History Information Program by Oxford University Press.
- PETERS, D. (2000). "An alternative to foxing? Oxidative degradation as a cause of cellulosic discolouration". *Papier Restaurierung* Vo1.1 Supp1. 55-60.
- PINZARI, F. y MONTANARI, M. (2011). "Mould growth on library materials stored compactus-type shelving units, Sick Building Syndrome". In Abdul-Wahab S.A. (Ed). *Public Buildings and Workplaces*, Springer, Berlin: 196-203.
- PIÑAR, G., TAFER, H., STERFLINGER, K. F. y PINZANI, F. (2015). "Amid the possible causes of a very famous foxing: molecular and microscopic insight into Leonardo da Vinci's self portrait". *Environmental Microbiology Reports*. 7(6): 849-59. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12313>
- PRESS, R.E. (2001). "Observations on the foxing paper". *International Biodeterioration and Biodegradation* 48 (1-4): 87-94.
- RAKOTONIRAINY, M.S., HEUDE, E. y LAVÉDRINE, B. (2007). "Isolation and attempts of biomolecular characterization of fungal strains associated to foxing on a 19th century". *Journal of Cultural Heritage*, 8 (2), 126-133. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2007.01.003>.
- RAKOTONIRAINY, M.S., BÉNAUD, O. y VILMONT, L. (2015). "Contribution to the characterization of foxing stains on printed books using infrared spectroscopy and scanning electron microscopy energy dispersive spectrometry". *International Biodeterioration and Biodegradation* 101: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.02.031>.
- REBRIKOVA, N.L. y MANTUROVSKAYA, N.V. (2000). "Foxing - A New Approach to an Old Problem". *Restaurator* 21 (2) 85-100. <https://doi.org/10.1515/REST.2000.85>.
- SAMPAOLESI, S., BRIAND, L.E., SAPARRAT, M.C.N. y TOLEDO, M.V. (2023). "Potentials of Biomass Waste Valorization: Case of South America". *Sustainability* 15, 8343. <https://doi.org/10.3390/su15108343>
- STRATIGAKI, M., ARMIROTTI, A., OTTONELLO, G., MANENTE, S. y TRAVIGLIA, A. (2024). "Fungal and bacterial species richness in biodeteriorated seventeenth century Venetian manuscripts". *Sci Rep* 14, 7003. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57228-2>. *Sci Rep* 14, 7003.
- SZCZEPANOWSKA, H. y CAVALIERE, A.R. (2012). "Conserving our Cultural Heritage: The role of fungi in biodeterioration". In: Johanning, E., Morey, P., Auger, P. (Eds.). *Bioaerosols – Fungi, Bact. Mycotoxins indoor outdoor environments and human health*. Fungal Research Group, Albany: 293-309.
- SZULC, J., OTLEWSKA, A, RUMAN, T., KUBIAK, K., KARBOWSKA-BERENT, J., KOZIELEC, T. y GUTAROWSKA, B. (2018). "Analysis of paper foxing by newly available omics techniques". *International Biodeterioration and Biodegradation* 132: 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.03.005>
- TANG, L. C. (1978). "Determination of Iron and Copper in 18 th and 19 th century books by Flameless Atomic Absorption Spectroscopy". *Journal of the American Institute for Conservation* 17:19-32.
- TANG, LC. y TOYER, MA. (1981). "Flameless Atomic Absorption Spectroscopy: A Useful Tool for Direct Determination of Elements in Library Archival Materials". *Technology and Conservation*, 6(2):40-5.
- TOLEDO, A.V., FRANCO, M.E.E., YANIL LOPEZ, S.M., TRONCOZO, M.I., SAPARRAT, M.C.N. y BALATTI, P. (2017). "Melanins in fungi: Types, localization and putative biological roles". *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 99: 2-6. <http://doi.org/10.1016/j.pmpp.2017.04.004>.
- ZOTTI, L.M., FERRONI, A. y CALVIN, P. (2011). "Mycological and FTIR analysis of biotic foxing on paper substrates". *International Biodeterioration and Biodegradation* 65: 569-578.

Autor/es



Daniela Silvana Nitíu

dnitíu@fcnym.unlp.edu.ar

Facultad de Ciencias Naturales y Museo,
Universidad Nacional de La Plata. Argentina
<http://orcid.org/0000-0002-7755-7048>

Dr. en Ciencias Naturales, Lic. en Biología orientación Botánica, FCNyM (UNLP). Investigador Adjunto CONICET. Jefe de Trabajos Prácticos UNLP en la Cátedra de Introducción a la Botánica (FCNyM). Especialista en Docencia Universitaria, UNLP. Desarrolla investigación en el campo de la aeromicología especialmente en ambientes interiores de sitios donde se conservan bienes de interés cultural y/o patrimonial. Participa del Programa de Incentivos a los Docentes-Investigadores, Secretaría de Política Universitaria del Ministerio de Educación de la Nación en la Categoría II. Sicadi II. Evaluador Nacional de Proyectos de Investigación y Becas para UNLP, CONICET e internacional para CSIC (Uruguay). Ha realizado informes técnicos de distintas áreas del Museo de La Plata y del Archivo y Biblioteca del Senado de la Pcia. De Bs As, del Archivo histórico de la UNLP como así también de ámbitos públicos y privados. Directora de Tesis Doctoral de becarios (CONICET) y tesistas de la Universidad de San Luis, Tucumán y de la FCNyM (UNLP). Posee numerosos antecedentes en Reuniones y Publicaciones en distintos ámbitos científicos nacionales e internacionales. Ha recibido premios a trabajos científicos en diversos eventos científicos. Ha dictado cursos de Postgrado dentro del Programa INTER-U como Miembro Responsable. Ha dado numerosas conferencias en ámbitos públicos y privados. Tiene en su haber numerosos arbitrajes de publicaciones científicas nacionales e internacionales y es Editor de la Revista Timisoara (Polonia).



Andrea Cecilia Mallo

malloa2001@yahoo.com.ar

Facultad de Ciencias Naturales y Museo,
Universidad Nacional de La Plata. Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-0053-0250>

La Lic. Andrea C. Mallo, se desempeña como Personal de Apoyo a la investigación, categoría Principal CIC - PBA en la temática de Aerobiología y Aeromicología desde el año 2006 en la Cátedra de Palinología de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Docente en la Cátedra de Introducción a la Botánica en la Facultad de Cs Naturales y Museo, Categoría de Docente Investigador IV. Ha participado en 9 Proyectos de Investigación de la Universidad Nacional de la Plata y Comisión Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y en la actualidad es integrante de Proyectos de Incentivos, UNLP; PIP CONICET, y ANPCyT. Ha sido Miembro de Comisiones Asesoras, Consejo Consultivo Departamental de Botánica de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP) evaluador de Proyectos de Investigación para la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) y ha realizado arbitrajes en revistas nacionales e internacionales. Posee múltiples trabajos publicados en revistas científicas indexadas, capítulos de libro, trabajos completos en Actas de Congreso y presentaciones

en congresos nacionales e internacionales. Ha realizado informes técnicos de distintas Salas del Museo de La Plata y del Archivo del Senado de la Provincia de Buenos Aires, Legislatura de la Provincia de Buenos Aires. Ha sido Codirectora de Pasantías y Becas en la Facultad de Ciencias Naturales y Museo.



Mario Carlos Nazareno Saparrat

masaparrat@fcnym.unlp.edu.ar

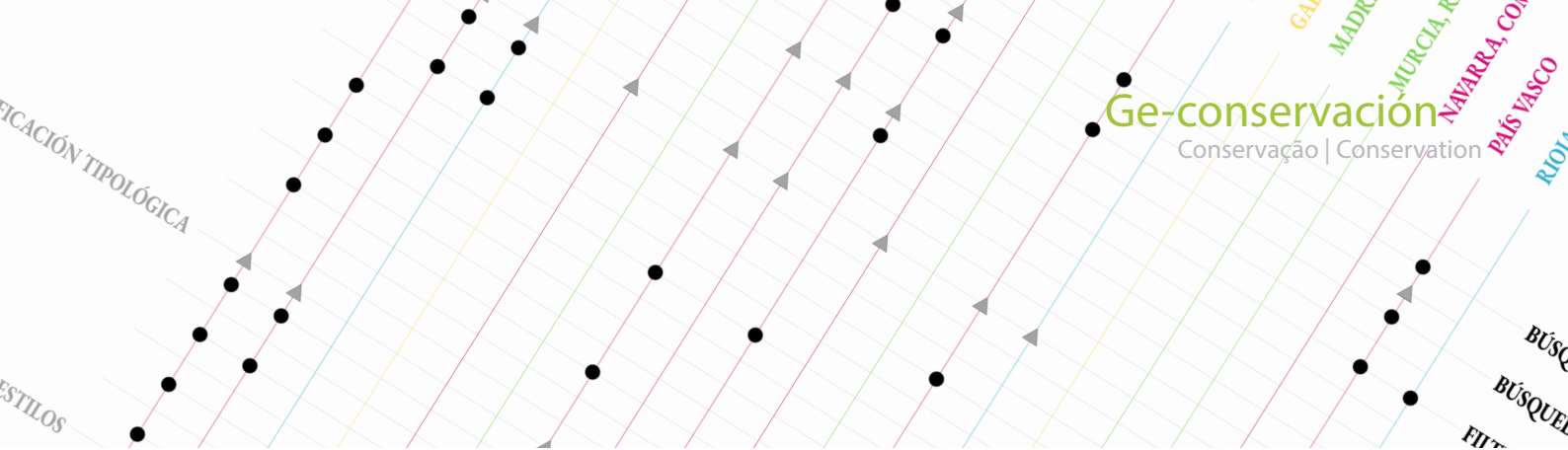
Instituto de Fisiología Vegetal INFIVE,
Argentina
<http://orcid.org/0000-0001-7403-1713>

El Dr. Mario Saparrat es Investigador Principal CONICET en el INFIVE, Profesor Titular UNLP en la Cátedra Botánica Sistemática I, Fac. Cs. Naturales y Museo, UNLP y Profesor Adjunto UNLP en la Cátedra de Microbiología Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. Es miembro del Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP por el claustro de Profesores. Es Editor Asociado de Darwiniana Nueva Serie, ISSN 0011-6793 impresa - ISSN 1850-1699 en línea, para el área Sistemática y Taxonomía de Algas y Hongos. Integrante de la Comisión Asesora Honoraria de Ciencias Agrícolas, Producción y Salud Animal de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Desarrolla investigación en el campo de la fisiología de hongos y su rol en la transformación de materiales orgánicos y los pigmentos de los hongos, específicamente melaninas. Participa del Programa de Incentivos a los Docentes-Investigadores, Secretaría de Política Universitaria del Ministerio de Educación de la Nación en la Categoría II (SICADI I). Hasta la fecha, ha contribuido con numerosas publicaciones en revistas científicas de la especialidad, 2 libros y en la formación de 12 tesis doctorales relacionadas a la temática

Artículo enviado el 24/10/2024
Artículo aceptado el 18/02/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v27i1.1348>



En busca del patrimonio cultural inmueble contemporáneo. Análisis comparativo de la accesibilidad y visibilidad de los Sistemas de Información del Patrimonio Cultural Inmueble en España

Mar Loren-Méndez, Roberto F Alonso-Jiménez, Patricia Ferreira-Lopes, Daniel Pinzón-Ayala

Resumen: Este artículo presenta un análisis comparativo de los Sistemas de Información del Patrimonio Cultural (SIPC) diseñados y desarrollados en España por las comunidades y ciudades autónomas. En concreto, el estudio se centra en la accesibilidad y la visibilidad del patrimonio inmueble contemporáneo en el seno de dichos sistemas. Para ello, la investigación se desarrolla en tres fases: definición de los criterios y funciones a ser analizados; análisis comparativo del patrimonio inmueble en general en el seno de los SIPC de las diferentes autonomías; diagnóstico centrado en el patrimonio contemporáneo de una serie de casos seleccionados.

La investigación concluye que existen lagunas y deficiencias significativas que dificultan el uso, la accesibilidad, la visibilidad y el conocimiento del patrimonio contemporáneo en el conjunto del país. Asimismo, cabe resaltar los desniveles y la falta de estandarización de los criterios, términos, funciones y recursos entre los diversos SIPC. Finalmente, el estudio propone estrategias para la mejora de la accesibilidad y funcionalidad de los SIPC, aportando una contribución científica explícitamente orientada a la transferencia hacia las diferentes instituciones autonómicas.

Palabras clave: patrimonio arquitectónico, patrimonio del entorno construido, bases de datos de patrimonio, registro de patrimonio cultural, valoración del patrimonio cultural, gestión del patrimonio cultural, sistema de información del patrimonio de las comunidades autónomas, metodología de estudios patrimoniales

Finding (Recognizing) immovable Modern Heritage. Comparative analysis of the accessibility and visibility in Immovable Cultural Heritage Information Systems in Spain

Abstract: This article presents a comparative analysis of the Information Systems for Cultural Heritage (ISCH) designed and developed in Spain by the autonomous administrative regions. Specifically, the study focuses on the accessibility and visibility of modern immovable heritage within these systems. To this end, the research is developed in three phases: definition of the criteria and functions to be analysed; comparative analysis of immovable heritage in general within the ISCHs; diagnosis focused on the modern heritage of a series of selected cases.

The research concludes that there are significant gaps and deficiencies that hinder the use, accessibility, visibility and knowledge of modern heritage in the country as a whole. It also highlights the unevenness and lack of standardisation of criteria, terms, functions and resources among the various ISCHs. Finally, the study proposes strategies for improving the accessibility and functionality of the ISCHs, making a scientific and transfer-oriented contribution to the different regional institutions.

Keywords: architectural heritage, heritage of the built environment, heritage databases, cultural heritage registry, cultural heritage valuation, cultural heritage management, regional heritage information system, methodology of heritage studies

Em busca do património cultural imóvel contemporâneo. Análise comparativa da acessibilidade e visibilidade dos Sistemas de Informação do Património Cultural Imóvel em Espanha

Resumo: Este artigo apresenta uma análise comparativa dos Sistemas de Informação do Património Cultural (SIPC) concebidos e desenvolvidos em Espanha pelas comunidades e cidades autónomas. Especificamente, o estudo centra-se na acessibilidade e visibilidade do património imóvel contemporâneo no âmbito destes sistemas. Para tal, a investigação desenvolve-se em três fases: definição dos critérios e funções a serem analisados; análise comparativa do património imóvel em geral no âmbito dos SIPC das diferentes autonomias; diagnóstico centrado no património contemporâneo de uma série de casos seleccionados.

A investigação conclui que existem lacunas e deficiências significativas que dificultam o uso, a acessibilidade, a visibilidade e o conhecimento do património contemporâneo no conjunto do país. Além disso, é de salientar os desníveis e a falta de padronização dos critérios, termos, funções e recursos entre os diversos SIPC. Por fim, o estudo propõe estratégias para a melhoria da acessibilidade e funcionalidade dos SIPC, fornecendo uma contribuição científica explicitamente orientada para a transferência para as diferentes instituições autonómicas.

Palavras-chave: património arquitetónico, património do ambiente construído, bases de dados de património, registo de património cultural, avaliação do património cultural, gestão do património cultural, sistema de informação do património das comunidades autónomas, metodologia de estudos patrimoniais

Introducción y objetivos del proyecto

El registro, la gestión y la difusión de datos ocupa un lugar central en la valoración del patrimonio inmueble contemporáneo. En el caso del Estado español, las competencias en materia de patrimonio se han transferido a cada autonomía y, por tanto, se realizan de forma específica y diferente desde cada una de ellas. Aunque compartan el marco de la Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español (BOE 1985), la realidad patrimonial es diversa: las diferentes leyes de patrimonio desarrolladas por cada una de las comunidades y ciudades autónomas constituyen un marco legal desde el que se implementan los distintos sistemas de información del patrimonio cultural (SIPC) (Sanz, Humero y Casqueiro 2019).

Desde la creación del estado de las autonomías, ha habido un esfuerzo intenso y continuado en la identificación, catalogación y, en su caso, protección y salvaguarda patrimonial, como parte del proceso de construcción de cada autonomía y de su propia identidad (Quintilla y Agustín-Hernández 2023). En esa necesidad de comunicar y sensibilizar al conjunto de la sociedad, todas las administraciones han procedido a la creación de inventarios y registros de patrimonio cultural. Sin embargo, la accesibilidad, funcionamiento y capacidades de estos sistemas son heterogéneos: desde plataformas apoyadas en herramientas digitales, a otros que se constituyen como listados en PDF o que aún no son consultables. Con independencia de la fase de desarrollo en la que se encuentre cada sistema, se evidencia la importancia de la integración de la información espacial, tanto en los propios sistemas de información como en sus respectivas plataformas. En los últimos años, iniciativas a nivel internacional como el Espacio Común Europeo de Datos para el Patrimonio Cultural (European Commission 2024), los GLAMLABs (GLAM Labs Community 2024), el CIDOC-CRM (ICOM 2024), entre otros, marcan una tendencia de esfuerzos para la integración e intercomunicación de los datos patrimoniales.

Con el fin de paliar la problemática de la dispersión, heterogeneidad y difícil reuso de la información patrimonial de estos sistemas de ámbito autonómico, esta investigación, por un lado, diagnostica su accesibilidad y visibilidad y, con ello, sus fortalezas y limitaciones digitales. Por otro lado, el artículo plantea un estudio del patrimonio contemporáneo que permite centrar el análisis y ofrecer una lectura estatal sobre una categoría patrimonial concreta, dado que se trata de uno de los menos reconocidos. Para ello, la investigación diseña y desarrolla una metodología que, aplicada a

la situación en España, sus comunidades y ciudades autónomas, es reproducible a otros países y categorías patrimoniales. El presente estudio se enmarca en el proyecto nacional INFraestructura de gestión de datos de PATrimonio ConTemporáneo (INPACTO) y tiene como objetivo principal facilitar a nivel estatal la accesibilidad e integración de los datos patrimoniales del patrimonio contemporáneo, contribuyendo con ello a posicionar e incrementar su reconocimiento. Dicha investigación está realizada en el contexto de la Cátedra Unesco en Patrimonio Urbano Contemporáneo CREhAR, por un equipo investigador con miembros tanto del mundo académico –Universidad de Sevilla–, como de las instituciones públicas dedicadas al patrimonio –Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH)–.

No existe además en la actualidad una definición compartida y un consenso sobre a qué nos referimos cuando hablamos de Patrimonio Contemporáneo (en inglés *modern heritage*, MH). Este hecho sin duda dificulta su identificación y fomento de procesos de visibilización. A principios del siglo XXI, el Modern Heritage Programme promovido por la Unesco, en colaboración con Icomos y Docomomo International, plantea como objetivo promocionar esta categoría patrimonial (Oers y Haraguchi 2003). En dicho programa, se identificó como ámbito de estudio del *modern heritage* el rango temporal asociado a la llamada Edad Contemporánea (1789-Actualidad), denominada en inglés *Modern Era* o también *Late Modern Period*. Había, no obstante, ciertas contradicciones incluso en el seno del propio programa, limitándose por unos autores al siglo XIX y XX, para luego centrarse en sus reflexiones en el siglo XX (Oers 2003: 8). En 2017, la Unesco publicó un número monográfico de *World Heritage Review*, en el que se reforzó la idea de que el ámbito de estudio de esta categoría patrimonial se refería a la Edad Contemporánea, y define el *modern heritage* como “básicamente, la producción, en los campos del urbanismo, la arquitectura, la ingeniería y el paisajismo entre fines del siglo XVIII y nuestra época” (Conti 2017: 10). Es a esta acepción a la que nos vinculamos en el presente estudio (Loren-Méndez 2021), (Loren-Méndez, Alonso-Jiménez, Pinzón-Ayala 2023).

Precedido por esta introducción, el artículo incluye en primer lugar las fases de la metodología; a continuación, se incluyen los resultados obtenidos y finaliza con un apartado de discusión y conclusiones. En este último se apuntan estrategias para mejorar la visibilidad y la accesibilidad del patrimonio contemporáneo en los SIPC autonómicos en España, contribuyendo a la transición digital, aportando un conocimiento que “potenciará las

infraestructuras, competencias y tecnologías necesarias para una economía y sociedad digital” (BOE 2021). En última instancia, el presente artículo contribuye a trazar directrices eficaces para promover su identificación, documentación, divulgación y protección y, con ello, un mayor aprecio en la Academia, en otras instituciones públicas y privadas y en el conjunto de la ciudadanía. El diagnóstico escalonado realizado permite arrojar un panorama general a nivel estatal y, a su vez, identificar y diagnosticar el estado de los SIPC del patrimonio cultural y, en concreto, del patrimonio inmueble contemporáneo de cada autonomía.

Metodología

Con el fin de analizar los SIPC de las distintas autonomías, se diseña una metodología en la que se realizan procesos de análisis y discusión sincrónicos en grupo, que se complementan con estudios asincrónicos de cada miembro. Por un lado, en las sesiones grupales se procede a un análisis de los SIPC de cada autonomía, acompañada de discusiones del marco conceptual y de los criterios y aspectos pertinentes de cara a perfilar el proceso metodológico y el ámbito de estudio. Por otro lado, cada miembro del equipo procede al estudio pormenorizado de información y funciones concretas de determinados SIPC autonómicos, profundizando en su conocimiento para su posterior discusión de forma conjunta. Asimismo, para las reflexiones más envolventes de accesibilidad, visibilidad patrimonial y definición espacial, se recurre a ejemplos de casos concretos como soporte operativo, centrándonos ya en la categoría “Patrimonio Contemporáneo” como objeto de estudio.

La metodología se desarrolla en tres fases: contextualización; funcionamiento y grado de accesibilidad; visibilidad y representación del patrimonio contemporáneo. Todas las fases fueron acompañadas de una de carácter transversal (*cross-sectional*) de revisión metodológica y de reflexión continua de los criterios relevantes en la identificación y accesibilidad del patrimonio inmueble contemporáneo en un proceso cíclico. Así mismo, la metodología integra una dimensión gráfica para dar cabida al análisis comparativo.

— Fase 1: Contextualización, Identificación y localización de los SIPC

En esta primera fase se realiza una identificación de los SIPC existentes en cada una de las diecisiete comunidades autónomas y las dos ciudades autónomas. Se busca identificar los tipos de inventarios existentes en cada una, qué institución u organismo es el responsable de su gestión o mantenimiento, y cuál es su grado de digitalización y accesibilidad.

— Fase 2: Funcionamiento y grado de accesibilidad

Tras la identificación y localización de cada uno de los sistemas autonómicos, se realiza un estudio de

su funcionamiento y usabilidad. En este estudio se comprueban las capacidades generales, centrando el foco en la accesibilidad y posibilidades de búsqueda ofrecidas. Para ello, a lo largo de esta segunda fase se van revisando y perfilando los aspectos concretos que se estudiarán en cada uno de los sistemas. El objetivo es diagnosticar los grados de desarrollo de cada uno y plantear una clasificación que permita comprender la situación general de la gestión del patrimonio en España y las posibles carencias o fortalezas que presenta cada autonomía.

— Fase 3: Visibilidad y representación del patrimonio contemporáneo en los SIPC

La última fase de la metodología realiza un acercamiento concreto al patrimonio inmueble contemporáneo, comprobando las capacidades de los sistemas disponibles para la identificación de este. Entre los distintos SIPC se identifican aquellos que disponen de funciones operativas que permitan acotar resultados enfocados al patrimonio contemporáneo. Con esta información e identificados de forma específica los procesos seguidos para la obtención de resultados, se realiza una comparativa, entre el nivel de accesibilidad y el grado de representación de esta categoría patrimonial. De forma adicional se analizan las carencias detectadas y posible implementación de mejoras.

Resultados

— Fase 1

En esta fase se han localizado e identificado los SIPC de las distintas autonomías: se ofrece un listado de dichos sistemas incluyendo la denominación, el organismo responsable y su enlace web [Tabla 1]. Se confirma que el nivel de desarrollo y accesibilidad es dispar, pudiendo encontrarse aún en desarrollo o siendo en algunos casos un documento sin capacidades de consulta.

Entre los distintos SIPC localizados existe una variabilidad en sus procesos de elaboración, gestión y mantenimiento. Algunos de ellos dependen de forma específica de entidades especializadas en patrimonio –Andalucía– o de departamentos y servicios específicos –País Vasco o Cataluña–, otros se desarrollan desde gobiernos o corporaciones públicas –Aragón–, y otros se apoyan en sistemas existentes donde se vuelca la información específica sobre patrimonio –La Rioja o Asturias–. En algunos casos y dada la atomización de los servicios autonómicos, hemos encontrado más de un SIPC en determinadas autonomías. Por ejemplo, la Guía Digital del Patrimonio Cultural de Andalucía depende del IAPH, de la Consejería de Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía (IAPH 2024). Sin embargo, otro SIPC como es el Catálogo General del Patrimonio Histórico Andaluz depende de la Dirección General de Bienes Culturales, también dentro de la misma consejería, incluyendo en este caso únicamente el patrimonio protegido (Dirección General de BB. CC. 2024).

	Comunidad Autónoma	Organismo responsable	Denominación
	Andalucía	Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico - Consejería de Cultura y Deporte	Guía Digital del Patrimonio Cultural de Andalucía
	Aragón	Instituto de Estudios Altoaragoneses	Sistema de Información del Patrimonio Cultural Aragonés – Catálogo de Patrimonio Arquitectónico Aragonés
	Asturias, Principado de	Servicio de Cartografía del Principado de Asturias	Visor de bienes de interés cultural
	Balears, Illes	Agència d'Estratègia Turística - Conselleria de Turisme, Cultura i Esports	Illes Balears Travel
	Canarias	Dirección General de Patrimonio Cultural - Gobierno de Canarias	Sistema de Información del Patrimonio Cultural de Canarias - LAVA
	Cantabria	Dirección General de Cultura, y Patrimonio Histórico - Consejería de Cultura Turismo y Deporte	Listado de Patrimonio de Cantabria
	Castilla y León	Consejería de Cultura, Turismo y Deporte	Catálogo de Bienes Protegidos. Junta de Castilla y León
	Castilla-La Mancha	Consejería de Educación, Cultura y Deportes	Catálogo de Patrimonio Cultural
	Cataluña	Servei de Suport Tècnic i Inventari - Direcció General d'Arxius, Biblioteques, Museus i Patrimoni	Inventari del Patrimoni Arquitectònic de Catalunya
	Ciudad de Ceuta	Consejería de Educación, Cultura y Mujer	Listado de Edificios de Interés Cultural
	Ciudad de Melilla	Dirección General de vivienda, patrimonio y urbanismo	Catálogo de Bienes y Espacios Protegidos del Plan General de Melilla
	Comunitat Valenciana	Dirección General de Patrimonio Cultural - Conselleria de Educación, Cultura, Universidades y Empleo	Inventario General de Patrimonio Cultural Valenciano
	Extremadura	Observatorio Extremeño de la Cultura	Observatorio Extremeño de la Cultura - Mapa de Infraestructuras
	Galicia	Xunta de Galicia	Catálogo del Patrimonio Cultural de Galicia
	Madrid, Comunidad de	Área de Arquitectura y Patrimonio - Dirección General de Arquitectura y Rehabilitación - Consejería de Vivienda	Catálogo regional de Patrimonio Arquitectónico
	Región de Murcia	Servicio de Patrimonio Histórico	Censo de Bienes de Interés Cultural de la Región de Murcia
	Navarra, Comunidad Foral de	Dirección General de Cultura – Institución Príncipe de Viana	Registro de Bienes de Navarra
	País Vasco	Departamento de Cultura y Política Lingüística	Ondarea - Sistema de Información del Patrimonio Cultural
	Rioja, La	Gobierno de La Rioja	IDERioja - Bienes de Interés Cultural

Tabla 1.- Listado de los SIPC, organismos responsables, denominación de los sistemas y sus enlaces correspondientes. Fuente: Elaboración propia.

— Fase 2

Se realiza una clasificación del estado de cada uno de los SIPC autonómicos que permita entender el nivel de desarrollo o especificidad presente en cada una, identificándose cuatro grupos [Figura 1] que contemplan las siguientes características:

1. Plataformas *online* que permiten la consulta y se desarrollan de forma concreta para el patrimonio.
2. Visores independientes disponibles *online* que incluyen, como una capa más, información sobre patrimonio sin un enfoque concreto. Estos suelen estar vinculados a visores geográficos.

3. Listados o censos de bienes en archivos, sin posibilidad de consulta, búsqueda o filtrado, se descargan en formato .pdf y, en ocasiones, tras solicitud específica a la administración competente.

4. Otras situaciones en las que no es posible la consulta de ningún documento específico, bien por encontrarse en desarrollo (Galicia) o bien por no localizarse información más allá que la centrada en el turismo (Illes Balears).

Se representa la clasificación de los SIPC según su nivel de desarrollo, donde se muestra la preponderancia de las plataformas *online*, no solo en su número (10 de 19) sino en la superficie cubierta por dichos sistemas [Figura 1]. Se detecta

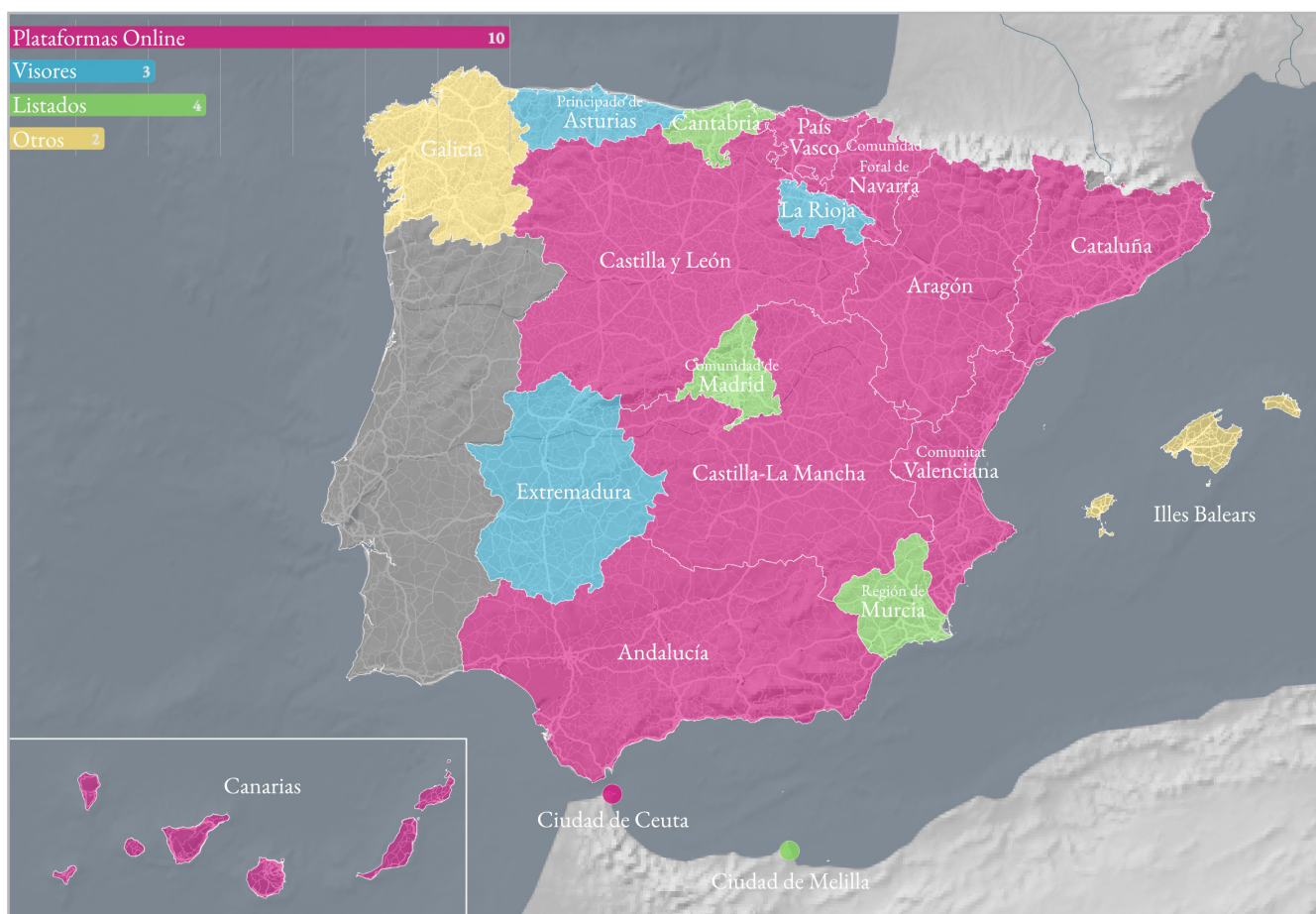


Figura 1.- Clasificación en cuatro grupos del estado de cada SIPC autonómico para entender el nivel de desarrollo o especificidad presente en cada una. Fuente: Elaboración propia.

una relación entre la extensión de las comunidades y la implementación de herramientas más desarrolladas o específicas: cinco de las seis autonomías con más superficie disponen de plataformas *online*.

Ante la heterogeneidad de los sistemas localizados y la diversidad funcional, se hace necesario una identificación y debate sobre sus contenidos y capacidades. En este proceso se analizan cada uno de los SIPC en busca de una coherencia que permita realizar una comparación entre las distintas situaciones. Con relación a la accesibilidad y operatividad, se busca ofrecer un marco común para las distintas autonomías: por un lado, con la información contenida en cada sistema y, por otro, con las funciones que permiten durante la consulta [Figura 2].

Adicionalmente, en el proceso de diagnóstico se identifican bloques de contenido comunes que permiten relacionar parámetros fundamentales pertenecientes a información con funciones. Se presentan cinco bloques: contenido general, componente geográfica, cronología, clasificación (tipologías y categorías) y grado de protección y relaciones. Durante este proceso se hace imprescindible un estudio de la terminología utilizada en cada uno de los sistemas y se termina planteando una nomenclatura que permita integrar las diferentes situaciones similares o equiparables entre las

autonomías. Por ejemplo, en el SIPC de Aragón se llama “función” a la clasificación en arquitectura industrial, en el SIPC de Andalucía se utiliza “tipología”. Por otro lado, en el ámbito del análisis temporal, en Andalucía la clasificación se hace por periodos históricos (Edad Medieval, Edad Contemporánea, etc.), en el SIPC de Aragón la clasificación es por años (se puede consultar un rango temporal o un año concreto) y en el País Vasco permite filtrar por periodos (Edad Medieval, Edad Contemporánea, etc.) y por siglos.

La ya mencionada diversidad en la organización y nomenclatura se hace notar aún más en el funcionamiento de cada uno de los sistemas. Si bien las plataformas *online*, a excepción de Ceuta, permiten realizar búsquedas avanzadas, la capacidad de cada una de ellas es diferente. Algunos sistemas, como el aragonés o el andaluz, centran su acceso desde los procesos de búsqueda, otros sistemas como el vasco muestran una mayor funcionalidad en la aplicación de filtros posteriores a la búsqueda. Esta disparidad se hace evidente en la variabilidad de funciones que, partiendo de una misma información, pueden o no implementarse: el caso más claro puede verse en la componente geográfica. Aunque varios de los sistemas incorporan la geolocalización como información, no todos ofrecen las mismas funciones basadas en este contenido: algunos



Figura 2.- Diagrama de análisis comparativo de los SIPC según su información y funciones. Este diagrama permite dar cabida a la triple lectura desde la información, las funciones y la distribución autonómica. Fuente: Elaboración propia.

disponen de búsqueda geográfica (Andalucía, Aragón, País Vasco y La Rioja) y otros basan la consulta en visores cartográficos interactivos (Andalucía, Castilla y León, Cataluña y País Vasco).

— Fase 3

Tras el análisis realizado en la fase 2, se procede al estudio centrado en la localización de patrimonio inmueble contemporáneo. Entre todas las autonomías, solo tres de los SIPC estudiados permiten una consulta específica para concretar o acotar una lista de patrimonio contemporáneo. En cualquier caso, ninguna autonomía dispone de una etiqueta, temática específica, para tener claramente identificado y visibilizado este patrimonio. Aunque se detecta que otros sistemas disponen de la

información necesaria para poder realizar un posible cribado, los únicos sistemas que a fecha de redacción disponen de funciones para su identificación son:

1. La Guía Digital del Patrimonio Cultural de Andalucía.
2. El Sistema de Información del Patrimonio Cultural Aragonés (SIPCA).
3. El Sistema de Información del Patrimonio Cultural del País Vasco – Ondarea.

Entre las componentes estudiadas, según la especificidad de cada SIPC, se identifican como funciones clave para la localización del patrimonio contemporáneo las siguientes [Figura 3]: la búsqueda por periodo histórico en la Guía Digital de Andalucía, la búsqueda por rango de fechas en SIPCA y el filtrado por periodos en Ondarea.



Figura 3.- Diagrama del análisis comparativo de los SIPC en el cual se identifican las funciones claves para la localización del patrimonio contemporáneo. Fuente: Elaboración propia.

En cada uno de los tres SIPC identificados se presenta un proceso de localización del patrimonio contemporáneo. La información cronológica se evidencia como la principal vía para acotar los resultados, no obstante, la consulta de esta información se realiza de forma diferente en los SIPC. En Andalucía y Aragón se obtiene el resultado mediante una búsqueda avanzada, en cambio, en el País Vasco se efectúa mediante filtrado. El número de pasos para la obtención de resultados es similar en los tres sistemas [Figura 4], necesitando tres niveles de consulta para alcanzar la lista más completa posible de patrimonio contemporáneo. En los resultados vertidos a fecha de 8/10/2024 se observa que Andalucía es la autonomía con un mayor número de resultados con 6714, seguida de Aragón con 1789 y el País Vasco con 1682. Para una comprensión del peso que posee

el patrimonio contemporáneo con respecto al número total de bienes inmuebles/arquitectónicos/construidos en cada comunidad, el País Vasco sería la de mayor porcentaje con un 28,20 %, seguida de Andalucía con un 23,42 % y Aragón con un 10,32 %.

Estos resultados deben entenderse dentro de las limitaciones que presentan los distintos sistemas: los resultados arrojados pueden tener un cierto grado de imprecisión debido a los procesos de búsqueda o filtrado que dependen de datos que pueden no tener un tratamiento homogéneo en los distintos bienes, pudiendo en ocasiones mostrar coincidencias temporales con otros periodos, donde no existe una evaluación específica del impacto de lo contemporáneo.

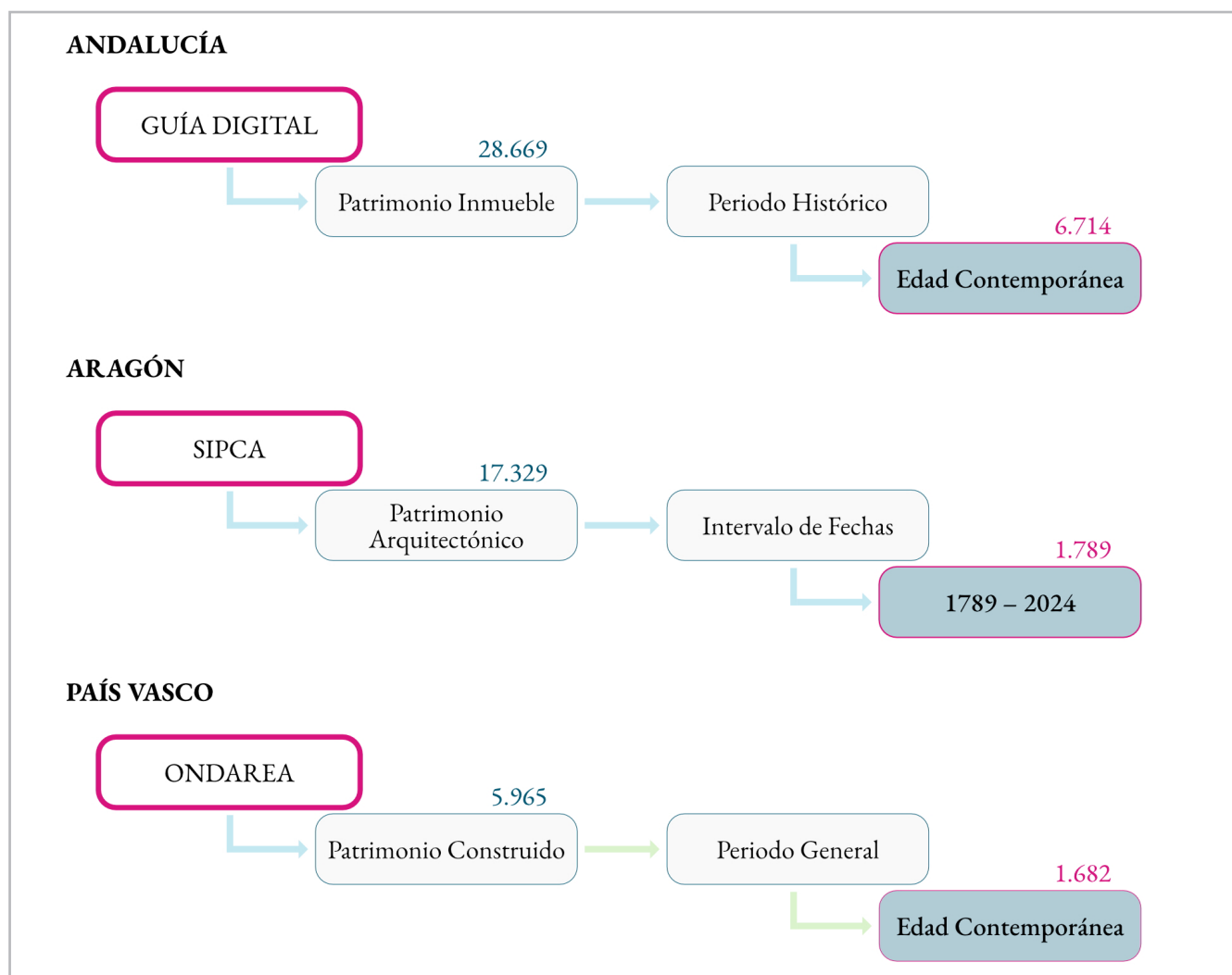


Figura 4.- Diagrama de los procesos de localización del patrimonio inmueble contemporáneo y el número de resultados obtenidos, identificando con flechas azules las búsquedas y con flechas verdes los filtrados. Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

— Diversidad, heterogeneidad y limitaciones en la gestión autonómica del patrimonio

Las diferentes autonomías españolas, como responsables del patrimonio en sus territorios, disponen de una diversidad de aproximaciones en la gestión patrimonial, realidad que se transfiere a sus SIPC. Dichos sistemas dependen de diferentes organismos en el seno de los gobiernos autonómicos, llegando incluso a duplicarse en algunos casos.

Se destaca el diferente grado de desarrollo entre autonomías, algunas con sistemas consolidados y en constante actualización y otras con un escaso o inexistente grado de implementación de herramientas tecnológicas. La mayoría de las autonomías disponen de un sistema informatizado específico para la información del patrimonio; diez de las diecinueve autonomías disponen de estos sistemas, estando uno actualmente en desarrollo. La transición digital de las administraciones en la gestión y difusión del patrimonio se puede considerar

por ello una tarea pendiente, aunque en marcha, a nivel nacional.

— Dispersión y ausencia de estandarización en los sistemas de consulta y visualización de las plataformas

Ya centradas en las plataformas con acceso *online* y, por tanto, accesible para el usuario, la pluralidad que caracteriza cada una de las autonomías también tienen un reflejo en los sistemas de consulta y visualización de los SIPC. Aunque existen puntos en común entre las diversas plataformas, todas respaldadas desde una base de datos, la utilización de terminologías similares para conceptos diferentes y la implementación de jerarquías o clasificaciones no compartidas, dificultan la posible interoperabilidad o estandarización de los contenidos.

— Dificultad en la accesibilidad al patrimonio contemporáneo

Centrando el foco en el patrimonio contemporáneo, se confirman las dificultades existentes para la detección y

localización de esta categoría en los distintos sistemas. Se evidencia la falta de la información cronológica como dato útil para realizar búsquedas o filtrados en los bienes recogidos. En concreto, solo tres de los SIPC analizados permiten realizar un acercamiento aproximado al patrimonio contemporáneo, teniendo el proceso de su localización aun un margen de mejora y afinado que no permite alcanzar la obtención de unos resultados totalmente pertenecientes al periodo contemporáneo. Así mismo, la confluencia de distintas cronologías en un bien y la ausencia de información del grado de relevancia de dichos estratos en el patrimonio, incorpora un grado de incertidumbre y complejidad no resuelto a la hora de identificar el patrimonio contemporáneo.

— Retos de los SIPC

Se identifican en esta investigación y diagnóstico una serie de retos pendientes en la mayor parte de los SIPC existentes:

- La concreción de un marco compartido que permita la interoperabilidad de los datos, sin perder la especificidad y pluralidad propias de cada autonomía.
- La colaboración estrecha entre los distintos SIPC de España, así como su integración en uno a nivel nacional.
- El desarrollo de las capacidades espaciales de los sistemas, su interconexión y sistemas de descarga.
- La construcción de procesos o productos divulgativos específicos que permitan dar a conocer patrimonios concretos al público en general, como el patrimonio contemporáneo.
- La adopción de un tesoro o vocabulario controlado compartido que posibilite no solo mejorar las interrelaciones entre registros, sino también propiciar unos criterios terminológicos homogéneos.
- El desarrollo e incorporación en los SIPC de guías para el usuario que expliquen su recorrido, sus funciones, tipos de información y capacidades. Eso garantizará mayor accesibilidad y reúso de la información contenida.
- La traducción del contenido en otros idiomas (como el inglés) y en formato de audio para incrementar el número de usuarios y ampliar su accesibilidad.
- La actualización de la arquitectura interna de los SIPC mediante sistemas que faciliten la interconexión de datos (modelos semánticos basados en grafo) y el uso de estándares (CIDOC-CRM, Europeana Data Model, entre otros).

— Retos concretos en patrimonio contemporáneo

- La utilización de clasificaciones específicas para categorías como el patrimonio contemporáneo que

permitan una obtención directa de resultados, que pudiera solventar posibles problemas en los procesos de búsqueda o filtrado.

- La implementación de información y funciones relativas a la cronología que permita la búsqueda eficaz del patrimonio contemporáneo.
- La información de la relevancia de las distintas intervenciones en un bien patrimonial para poder dilucidar su consideración como patrimonio contemporáneo, pero también para elevar o descartar como patrimonio otros estratos del bien.

Agradecimientos

Este estudio es parte del proyecto “Infraestructura de gestión de datos de PATrimonio ConTempOráneo. [INPACTO]”, TED2021-130882B-I00, financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033/ y por la “Unión Europea NextGenerationEU/PRTR” y de la ayuda RYC2022-036213-I financiada por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por los “FSE+” en el marco de la Cátedra Unesco en Patrimonio Urbano Contemporáneo CREhAR (Creative Research and Education on heritage Assessment and Regeneration) concedido a la Universidad de Sevilla y realizado junto al Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico (IAPH).

Referencias

- AGÈNCIA D'ESTRATÈGIA TURÍSTICA - CONSELLERIA DE TURISME, CULTURA I ESPORTS (2024). “Patrimonio Cultural”. <https://www.illesbalears.travel/es/baleares/arte-y-cultura/patrimonio-cultural>. [consulta: 7/10/2024]
- ÁREA DE ARQUITECTURA Y PATRIMONIO (2024). “Catálogo regional de Patrimonio Arquitectónico de la Comunidad de Madrid”. <https://www.comunidad.madrid/servicios/vivienda/catalogos-patrimonio-arquitectonico#catalogo-regional-patrimonio-arquitectonico> [consulta: 7/10/2024]
- BOE (1985). Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español, Núm. 155, 20342-20352. <https://www.boe.es/eli/es/l/1985/06/25/16/con>. [consulta: 7/10/2024].
- BOE (2021). Orden CIN/1360/2021, de 3 de diciembre, Orden CIN/1360/2021, de 3 de diciembre, por la que se aprueban las bases reguladoras de la concesión de ayudas públicas a proyectos estratégicos orientados a la transición ecológica y a la transición digital, del Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación para el periodo 2021-2023, en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, y por la que se aprueba la convocatoria de tramitación anticipada correspondiente al año 2021 de estas ayudas, Núm. 291, 150407-150481. <https://www.boe.es/boe/dias/2021/12/06/pdfs/BOE-A-2021-20178.pdf>. [consulta: 19/6/2024].

CONSEJERÍA DE CULTURA, TURISMO Y DEPORTE (2024). "Catálogo de Bienes Protegidos Junta de Castilla y León". <https://servicios.jcyl.es/pweb/portada.do>. [consulta: 7/10/2024]

CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTES (2024). "Catálogo de Patrimonio Cultural de Castilla-La Mancha". <https://cultura.castillalamancha.es/patrimonio/catalogo-patrimonio-cultural>. [consulta: 7/10/2024]

CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN, CULTURA Y MUJER (2024). "Listado de Edificios de Interés Cultural de Ceuta". <http://web.ceuta.es:8080/patrimoniocultural/edificios/controlador?cmd=inicio>. [consulta: 7/10/2024]

CONTI, A. (2017). "Modern Heritage and the World Heritage Convention", *World Heritage Review*, 85: 8-14.

DEPARTAMENTO DE CULTURA Y POLÍTICA LINGÜÍSTICA (2024). "Ondarea - Sistema de Información del Patrimonio Cultural del País Vasco". <https://www.euskadi.eus/web01-apintegr/es/y47aIntegraWar/inicio?locale=es>. [consulta: 7/10/2024]

DIRECCIÓN GENERAL DE BB. CC. (2024). "Catálogo general del Patrimonio Histórico Andaluz". <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/culturaydeporte/areas/cultura/bienes-culturales/catalogo-pha/consulta.html>. [consulta: 7/11/2024].

DIRECCIÓN GENERAL DE CULTURA Y PATRIMONIO HISTÓRICO (2024). "Listado de Patrimonio de Cantabria". https://www.culturadecantabria.com/web/cultura-de-cantabria/listado-patrimonio?p_p_id=101_INSTANCE_iH8j&p_r_p_564233524_tag=camale%F1o. [consulta: 7/10/2024]

DIRECCIÓN GENERAL DE PATRIMONIO CULTURAL - CONSELLERIA DE EDUCACIÓN, CULTURA, UNIVERSIDADES Y EMPLEO (2024). "Inventario General de Patrimonio Cultural Valenciano". <https://ceice.gva.es/es/web/patrimonio-cultural-y-museos/inventario-general>. [consulta: 7/10/2024]

DIRECCIÓN GENERAL DE PATRIMONIO CULTURAL (2024). "Sistema de Información del Patrimonio Cultural de Canarias - LAVA". <https://www.gobiernodecanarias.org/aplicaciones/awanek>. [consulta: 10/11/2024]

DIRECCIÓN GENERAL DE VIVIENDA, PATRIMONIO Y URBANISMO (2024). "Catálogo de Bienes y Espacios Protegidos del Plan General de Melilla". https://www.melilla.es/melillaportal/contenedor.jsp?seccion=s_fdes_d4_v1.jsp&contenido=24595&tipo=6&nivel=1400&codResi=1&language=es&codMenu=611&codMenuPN=602. [consulta: 7/10/2024]

EUROPEAN COMMISSION (2024). "Common European data space for cultural heritage". <https://www.dataspace-culturalheritage.eu/en>. [consulta: 7/11/2024].

GLAM Labs Community (2024). <https://glamlabs.io/>. [consulta: 7/11/2024].

GOBIERNO DE LA RIOJA (2024). "IDERioja - Bienes de Interés

Cultural". <https://www.iderioja.larioja.org/vct/index.php?c=6171716a48716a46564f726e71666f5a362f535558513d3d&cm=0>. [consulta: 7/10/2024]

IAPH (2024). "Guía Digital del patrimonio cultural de Andalucía". <https://guiadigital.iaph.es/>. [consulta: 7/11/2024].

ICOM (2024). "Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model". <https://www.cidoc-crm.org/>. [consulta: 7/11/2024]

INSTITUCIÓN PRÍNCIPE DE VIANA (2024). "Registro de Bienes". [consulta: 10/11/2024]

INSTITUTO DE ESTUDIOS ALTOARAGONESES (2024). "Sistema de Información del Patrimonio Cultural Aragonés - Catálogo de Patrimonio Arquitectónico Aragonés". <http://www.sipca.es>. [consulta: 7/10/2024]

LOREN-MÉNDEZ, M. (2021). "Heritage Types: Modern Heritage". En *Statements for Sustainability and Heritage Awareness*, Vladan Djokic, Ana Nikezic, Mar Loren-Méndez, Konstantinos Sakamantis, Maria Philokyprou, Emanuela Sorbo, José Peral (eds.) Belgrado, Serbia: University of Belgrade, 89-96.

LOREN-MÉNDEZ, M., ALONSO-JIMÉNEZ, R., PINZON-AYALA, D. (2023). "Recognition of the Universal Value of Less-Represented Heritage Categories: the Case of Modern Heritage of our Built Environment". En *International Handbook on Research and Design for the Sustainability Heritage*. Mar Loren-Méndez, Marta Garcia-Casasola, Vladan Djokic, Ana Nikezic, Konstantinos Sakamantis, Maria Philokyprou, and Emanuela Sorbo (eds.) Belgrado, Serbia: University of Belgrade, 85-93.

OBSERVATORIO EXTREMEÑO DE LA CULTURA (2024). "Mapa de Infraestructuras". <https://observaculturaextremadura.es/mapa-de-infraestructuras/mapa>. [consulta: 7/10/2024]

OERS, R.V. (2003). "Introduction to the Programme on Modern Heritage". En *World heritage papers 5. Identification and documentation of modern heritage*, Oers, R.V. y Haraguchi, S. (eds.) París: Unesco World Heritage Centre, 8.

OERS, R.V., HARAGUCHI, S. (eds.). (2003). *World heritage papers 5. Identification and documentation of modern heritage*. París: UNESCO World Heritage Centre.

QUINTILLA CASTAN, M. Y AGUSTÍN-HERNÁNDEZ, L. (2023). "Los Sistemas de Documentación como instrumento de conservación del Patrimonio Arquitectónico. Experiencia en España y Europa", *Erph_ Revista electrónica De Patrimonio Histórico*, 32: 41-75. <https://doi.org/10.30827/erph.32.2023.24569>

SANZ RODRÍGUEZ, L. M., HUMERO MARTÍN, A. E. Y CASQUEIRO BARREIRO, F. (2019). "Análisis y comparación de las categorías e inventarios de la Ley de Patrimonio Histórico Español y las leyes de Patrimonio Cultural autonómicas del País Vasco y Canarias en el marco de la Convención de Granada", *Ge-Conservación*, 16: 71-80. <https://doi.org/10.37558/gec.v16i0.654>.

SERVEI DE SUPORT TÈCNIC I INVENTARI (2024). "Inventari del

Patrimoni Arquitectònic de Catalunya". <https://patrimoni.gencat.cat/es/inventarios-en-linea>. [consulta: 7/10/2024]

SERVICIO DE CARTOGRAFÍA DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS (2024). "Visor de bienes de interés cultural de Asturias". <https://sigvisor.asturias.es/SITPA>. [consulta: 7/10/2024].

SERVICIO DE PATRIMONIO HISTÓRICO (2024). "Censo de Bienes de Interés Cultural de la Región de Murcia". <http://www.patrimur.es/patrimonio-historico>. [consulta: 7/10/2024]

XUNTA DE GALICIA (2024). "Catálogo del Patrimonio Cultural de Galicia". <https://www.cultura.gal/es/catalogo-patrimonio-cultural-galicia>. [consulta: 7/10/2024]

Autor/es



Mar Loren-Méndez

marloren@us.es

Escuela Técnica Superior de Arquitectura,
Universidad de Sevilla

<https://orcid.org/0000-0002-1154-0526>

Mar Loren-Méndez es catedrática del Departamento de Historia, Teoría y Composición Arquitectónicas, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Sevilla. Doctora arquitecta, con estudios de posgrado en patrimonio y nuevas tecnologías del programa europeo Leonardo Da Vinci, y en Design Studies, Universidad de Harvard. Su investigación se centra en la caracterización del patrimonio del entorno construido, con énfasis en el Patrimonio Contemporáneo, innovación metodológica e incorporación de las nuevas tecnologías. Dirige la Cátedra UNESCO Modern Urban Heritage CREhAR, primera en patrimonio contemporáneo. Es experta del Plan Nacional de Arquitectura Contemporánea PNAC, y hasta 2023 directora del grupo de investigación Ciudad, Arquitectura y Patrimonio Contemporáneos. Su producción abarca más de 80 publicaciones como autora y editora, habiendo presentado su trabajo en más de 100 congresos y conferencias internacionales. Sus proyectos de investigación han captado fondos superiores a 1,7 millones de euros. Como investigadora principal, ha dirigido proyectos por valor de más de 500.000 euros, financiados por instituciones como los Fondos FEDER, la Unión Europea y el Ministerio de Investigación e Innovación. Sus exposiciones han sido premiadas y referidas en más de 100 reseñas. Reconocida con el Premio FAMA 2021 a la excelencia en investigación en la Universidad de Sevilla y con la Medalla Ciudad de Sevilla 2022 por su contribución cultural y patrimonial. Su trabajo fue premiado en la XIV Bienal Española de Arquitectura y Urbanismo. Su capacidad para tejer redes a nivel local, nacional e internacional ha generado un ecosistema de oportunidades en el ámbito del patrimonio. Desde la Cátedra UNESCO, ha establecido una red internacional de universidades, entidades públicas y privadas, y otras cátedras UNESCO. Es fundadora de la Red Internacional Iberoamericana de Cátedras UNESCO en patrimonio cultural y la Red Internacional CARVELand, en torno al patrimonio de los paisajes extractivos del mármol.



Roberto F Alonso-Jiménez

ralonsoj@us.es

Escuela Técnica Superior de Arquitectura,
Universidad de Sevilla

<https://orcid.org/0000-0002-2176-1023>

Roberto F Alonso-Jiménez, arquitecto por Universidad de Sevilla en 2018. Desde ese mismo año inicia los estudios de doctorado Universidad de Sevilla con Mar Loren-Méndez y Daniel Pinzón-Ayala como sus directores. La tesis doctoral se desarrolla dentro de la línea LE11 Historia y teoría de la arquitectura: estudios culturales, gestión social y ciudad creativa. Su trayectoria investigadora se inicia con una beca de iniciación a la investigación en 2017 centrada en caracterización de patrimonio emergentes, y con los corredores infraestructurales de litoral como caso estudio. Desde este punto participa en varios proyectos de investigación a nivel nacional e internacional donde destacan: el proyecto Erasmus+, "HERSUS: Enhancing of Heritage Awareness and Sustainability of Built Environment in Architectural and Urban Design Higher Education" (2020/2023) o el recientemente concedido proyecto estatal "INPACTO: Infraestructuras de bases de datos federadas de Patrimonio Contemporáneo" (2022/2024). Actualmente es personal investigador de la Universidad de Sevilla asociado al proyecto INPACTO arriba referido y forma parte de la Cátedra Unesco en Patrimonio urbano construido en la era digital CREhAR (Investigación y educación creativa en valoración y regeneración patrimonial). En referencia a su producción científica ha desarrollado comunicaciones en congresos y capítulos de libros, aunque su principal aportación se centra en artículos científicos. Su investigación centrada principalmente en las bases de datos del patrimonio, el patrimonio no excepcional y su escala territorial ha desencadenado publicaciones en revistas como: Sustainability, ISPRS International Journal of Geo-Information o Docomomo Journal.



Patricia Ferreira-Lopes

pwanderley@us.es

Escuela Técnica Superior de Arquitectura,
Universidad de Sevilla

<https://orcid.org/0000-0002-3886-9698>

Actualmente, Ferreira-Lopes es investigadora postdoctoral Ramón y Cajal en la Universidad de Sevilla, investigadora miembro del grupo de investigación HUM799 (departamento DEGA de la ETSA de la US), Experta de la Comisión Europea e investigadora externa del Instituto de Historia Contemporánea (IHC) - FCSH Nova Lisboa. Su tesis doctoral titulada "Modelos de Información Digital - SIG y Gráficos - aplicados al patrimonio. La fábrica de edificios en el antiguo reino de Sevilla durante la transición a la Edad Moderna" (2018, Beca FPI, Mención Doctorado Internacional) recibió el Premio Extraordinario de Doctorado, máxima distinción que concede la universidad pública española en la rama de Arquitectura e Ingeniería en Sevilla. Entre 2019 y 2024 fue investigadora doctora en el Centro

de Documentación y Estudios del IAPH y profesor contratado doctor en el Departamento de Artes y Humanidades de la Universidad Internacional de La Rioja. Ha colaborado con centros de I+D nacionales e internacionales en Canadá (CulturePlexLab en la Western University of Ontario, Londres), en los Países Bajos (CLUE+ Research Institute for Culture, History and Heritage en la Vrije Universiteit Amsterdam), en España (Cátedra UNESCO de Paisaje y Patrimonio Cultural en la Universidad del País Vasco, Vitoria-Gasteiz e Incipit Csic - Santiago de Compostela), en Portugal (Civil Engineering Research Innovation and Sustainability en el Instituto Superior Técnico, Lisboa; IHC en NOVA Lisboa) e Irlanda (DARIAH-EU, Dublín). Las líneas de investigación en las que trabaja son: modelos de digitales de información; aplicación de modelos ontológicos basados en grafo en patrimonio cultural; métodos y técnicas para la conservación, intervención y gestión del patrimonio; ciencia de datos patrimoniales; SIG Histórico; visualización de datos y gestión territorial del patrimonio.

Artículo enviado el 10/12/2024
Artículo aceptado el 09/03/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v27i1.1357>



Daniel Pinzón-Ayala

dpinzon@us.es

Escuela Técnica Superior de Arquitectura,
Universidad de Sevilla

<https://orcid.org/0000-0002-2583-5077>

Arquitecto y Dr. Arquitecto por la Universidad de Sevilla (2004 / 2016). Ejerce como Profesor Sustituto Interino en el Departamento de Historia, Teoría y Composición Arquitectónicas y pertenece al Grupo de Investigación HUM-666: Ciudad, Arquitectura y Patrimonio Contemporáneos, ambos de la Universidad de Sevilla. Es miembro de la Cátedra Unesco Built Urban Heritage in the Digital Era: CREHAR (Creative Research and Education in heritage Assessment and Regeneration), dirigida por la catedrática Mar Loren-Méndez y forma parte del Comité de Dirección de la revista *Temporánea*. Revista de Historia de la Arquitectura, de la Editorial de la Universidad de Sevilla. En estos últimos años ha participado en diversos proyectos con fondos europeos y estatales, como "El corredor de la carretera N-340 como eje histórico del litoral andaluz: metodologías de caracterización y estrategias para la patrimonialización y regeneración sostenible" (2014/2015); el Plan Director del Patrimonio Histórico Municipal de Sevilla (2020); el proyecto Erasmus+, "HERSUS: Enhancing of Heritage Awareness and Sustainability of Built Environment in Architectural and Urban Design Higher Education" (2020/2023) o el recientemente concedido proyecto estatal "INPACTO: Infraestructuras de bases de datos federadas de Patrimonio Contemporáneo" (2022/2024). Estas líneas de investigación, así como los resultados de su tesis doctoral sobre las casas cuartel de la Guardia Civil, se traducen en varios artículos en revistas de impacto, en libros de diversas editoriales de reconocido prestigio o en las actas de congresos y jornadas de difusión internacional. A estas líneas de investigación se suman otras como las vinculadas a la puesta en valor de la arquitectura andaluza del siglo XX –con especial interés por la producción historiográficamente marginada–, los procesos de creación y gestión de bases de datos patrimoniales o investigaciones desde una perspectiva de género.

Gestión, evaluación de las necesidades de conservación y jerarquización de una colección mediante su inventario

Fátima Marcos Fernández, Santiago Martín de Jesús, Pedro Mocho, Adrián Páramo Blázquez, Marta Plaza Beltrán, Francisco Ortega

Resumen: Para la conservación de los materiales paleontológicos es imprescindible disponer de forma ordenada toda la información que afecta a cada ejemplar y basándonos en la experiencia adquirida en la conservación de la colección de vertebrados del yacimiento del Cretácico Superior de Lo Hueco (Fuentes, Cuenca) se ha diseñado una base de datos orientada a la gestión.

Para la toma de datos se ha considerado la información sobre la morfología y composición de los ejemplares y estado de conservación. Todos estos datos se han evaluado y baremado aunando en una misma herramienta la información valorada sobre el estado de conservación, la vulnerabilidad frente a agentes de deterioro y el valor científico, didáctico e histórico de los ejemplares, lo que facilita gestión de las colecciones. Esta información permite también establecer prioridades en las estrategias de conservación de la colección dirigidas a la jerarquización de sus necesidades.

Palabras clave: base de datos, conservación, paleontología, jerarquización

Management, evaluation of the conservation needs and hierarchization of a collection through its inventory

Abstract: For the conservation of paleontological materials, it is essential to have all the information that affects each specimen in an orderly manner and based on the experience acquired in the conservation of the vertebrate collection from the Upper Cretaceous site of Lo Hueco (Fuentes, Cuenca), it has been designed a management-oriented database.

For data collection, information on the morphology and composition of the specimens and the state of conservation has been considered. All these data have been evaluated and calculated by combining in the same tool the valued information on the state of conservation, vulnerability to deterioration agents and the scientific, educational and historical value of the specimens, which facilitates the management of the collections. This information also allows to establish priorities in the strategies of conservation of the collection directed to the hierarchization of its needs.

Keywords: data bases, conservation, palaeontology, hierarchy

Gestão, Avaliação das necessidades de conservação e hierarquização de uma coleção através do seu inventário

Resumo: Para a conservação dos materiais paleontológicos é imprescindível dispor, de forma organizada, de toda a informação relativa a cada exemplar e regularizá-la numa base de dados orientada para a gestão de cada coleção. Neste trabalho apresentamos a experiência adquirida na conservação da coleção de vertebrados do jazigo do Cretácico Superior de Lo Hueco (Fuentes, Cuenca).

O objetivo da investigação foi avaliar e classificar, reunindo numa única ferramenta, a informação obtida sobre o estado de conservação, a vulnerabilidade face a agentes de deterioração e o valor científico, didático e histórico dos exemplares da coleção de Lo Hueco, tendo em conta a informação sobre a sua morfologia e composição. Esta documentação permitirá estabelecer prioridades nas estratégias de conservação da coleção, orientadas para a hierarquização das suas necessidades e, ao mesmo tempo, facilitar a gestão.

Palavras-chave: base de dados, conservação, paleontologia, hierarquização

Introducción

La conservación del patrimonio cultural, tradicionalmente enfocada al inventario y la organización de los bienes, ha recaído en las instituciones encargadas de su custodia, que suelen realizar los estudios en conservación sin considerar las apreciaciones de investigadores y especialistas. Sin embargo, el incremento en la relevancia de la conservación preventiva ha impulsado la integración de aspectos como el estudio del estado de conservación de las colecciones y la difusión de la importancia de implantar estrategias de preservación. En este proceso, además de las instituciones, es fundamental incorporar en el proceso al resto de los agentes implicados, como conservadores-restauradores, geólogos, paleontólogos o arqueólogos, que son los que aportan información clave para la evaluación y priorización de las intervenciones.

Por todo ello, podemos confirmar que en los últimos años, especialmente en los campos de la paleontología y la arqueología, se ha dado un mayor énfasis a la conservación preventiva desde el momento mismo de la extracción de los ejemplares en el yacimiento. Esta nueva visión amplía el espectro de la conservación, generando estrategias conjuntas que vinculan el valor social del patrimonio con el compromiso de la sociedad en el cuidado medioambiental de los yacimientos.

Partiendo de estudios sobre la conservación como método de gestión en diversos yacimientos arqueológicos (Carrera 2018; Cristina Escudero Remirez 2018; Ferroni 2013; Pastor Pérez y Canseco Domínguez 2017; Peña Ruíz *et al.* 2018), se propone abordar la conservación de los materiales paleontológicos tomando como ejemplo la colección de Lo Hueco. Estos estudios demuestran que la vulnerabilidad de los materiales va más allá de los problemas derivados de la extracción o de una correcta o incorrecta praxis en la excavación (Ferroni 2013), lo que sugiere que es necesario ir más allá de una visión limitada.

En la conservación preventiva, el enfoque se desplaza del tratamiento directo individual de cada ejemplar al análisis de la colección como un conjunto único. Dentro de este marco, se concibe el conocimiento de todo lo que ha sucedido con cada pieza de manera integral. Así como en arqueología se analizan desde la cantera de extracción hasta las técnicas de fabricación, en paleontología es fundamental estudiar las diversas circunstancias que afectan a los fósiles, considerando aspectos como las características del organismo que los originó, su exposición, almacenamiento o publicación. Es crucial examinar tanto la estructura interna y externa como el tamaño o peso del organismo productor, ya que estos factores influyen en las condiciones de conservación.

También es esencial considerar las condiciones de fosilización, tanto en la fase temprana (bioestratinómica) como en el proceso fosildiagenético posterior, ya que influyen en la heterogeneidad mineral de los ejemplares, incluso cuando provienen de condiciones similares en el organismo original. Los procesos de fosilización provocan alteraciones como pérdida de materia, grietas o cizallamientos, que no se consideran deterioros, sino características inherentes al fósil,

aunque deben ser gestionadas con protocolos de conservación específicos.

Para la creación de esta herramienta, se han tenido en cuenta estudios específicos sobre la conservación de ejemplares en colecciones de historia natural (Bigenwald y Waller 2004; Blum *et al.* 1989; Collins *et al.* 2008; Diéguez Jiménez y Montero Bastarache 1994; Fenkart-Fröschl *et al.* 2011), así como la guía de gestión de riesgos elaborada por el Instituto Canadiense de Conservación y el ICCROM (Luiz *et al.* 2017). En esta guía, además de identificar los riesgos, se evalúa la probabilidad de que ocurran y el impacto que podrían tener sobre la colección. Es fundamental comprender a fondo la colección que se gestiona, así como los riesgos intrínsecos derivados de las características de los fósiles y los procesos que ocurrirán hasta su almacenamiento o exposición (Collins 1995; Crowtner y Collins 1986; Fernández-López 2000; Howie 2013).

La colección de Lo Hueco, que supera los diez mil fósiles, incluye principalmente vertebrados, como dinosaurios, crocodiliformes y quelonios (Díez Díaz *et al.* 2016; Escaso *et al.* 2008; Narváez 2016; Ortega *et al.* 2015; Pérez-García Ortega y Murelaga 2013).

La evaluación del estado de conservación de las colecciones tiene un carácter interdisciplinar e involucra a especialistas en conservación-restauración, paleontología, geología y biología, quienes extraen conclusiones a partir de los trabajos de campo. Antes de la excavación, los conservadores-restauradores establecen las necesidades de extracción y protección frente a un traslado de los ejemplares al laboratorio. Una vez que la pieza llega al mismo, se analizan las alteraciones, se identifican sus causas y se priorizan las intervenciones necesarias atendiendo al estado de conservación que presentan.

Tras estudiar la composición de los materiales constitutivos y los tratamientos aplicados en fases anteriores, se analizan sus respuestas a las distintas condiciones ambientales. Además, se evalúan los riesgos de desestabilización causados por agentes de deterioro y se estima la probabilidad de que estos riesgos ocurran, así como el impacto real y potencial sobre la colección. Toda esta información se organiza en una base de datos que facilita su gestión y toma de decisiones.

Objetivos

El objetivo de este trabajo es presentar una herramienta eficiente que permita gestionar y establecer prioridades en las estrategias de conservación de una colección de fósiles de macrovertebrados, abarcando todo el proceso desde su extracción en el campo hasta su exposición.

Para llevar a cabo una gestión adecuada, se recopila de forma estandarizada información sobre el estado de conservación, la vulnerabilidad y el valor científico, didáctico o histórico de cada fósil. Estos datos se cuantifican y se valoran, permitiendo así la creación de una jerarquización que facilite la gestión conservativa de la colección.



Figura 1.- Proceso de excavación de los restos fósiles del esqueleto articulado de un titanosaurio (Ejemplar HUE-EC-03) en el yacimiento de Lo Hueco. Este espécimen destaca por conservar una serie de 23 vértebras caudales.

Metodología

Al reconocer que para una gestión eficaz de la colección resulta fundamental disponer de información detallada sobre el estado de conservación de cada ejemplar, se llevó a cabo un análisis exhaustivo que incluyó la evaluación del estado de conservación, la identificación de los agentes de deterioro activos y la valoración de las características esenciales de una colección de fósiles. Este trabajo evidenció la necesidad de desarrollar una herramienta que optimizara la gestión y permitiera priorizar las estrategias de conservación. Para ello, se diseñó una herramienta utilizando el gestor de bases de datos relacionales FileMaker. (<https://www.claris.com/es/resources/documentation/>)

Aunque su uso puede adaptarse a otras colecciones paleontológicas, los campos de información incluidos en ella se han basado en las necesidades de conservación

y gestión de las colecciones de fósiles de vertebrados custodiadas con fines científicos por el Grupo de Biología Evolutiva de la UNED y en la Sala de las Tortugas de la Universidad de Salamanca.

Para determinar los campos más apropiados para la base de datos, se consideraron las peculiaridades de cada pieza de la colección. Con el fin de facilitar su ingreso, la información se organizó en distintos apartados, presentados visualmente en pestañas separadas. Estos apartados incluyen los datos esenciales para identificar, caracterizar y localizar los ejemplares, así como los detalles extraídos de las fichas de restauración que describen su



Figura 2.- Vértebras caudales del mismo ejemplar HUE-EC-03, un saurópodo titanosaurio del yacimiento de Lo Hueco, mostrado en exposición permanente en el Museo de Paleontología de Castilla-La Mancha. Este fósil corresponde al ejemplar excavado ilustrado en la Figura 1.

estado de conservación. En este apartado se incluye el grado de intervención realizado sobre cada pieza, desde su extracción en el campo hasta su almacenaje o exposición [Figura 2].

Esta herramienta de gestión no solo organiza y revaloriza la colección a nivel científico o de difusión, sino que también jerarquiza las necesidades de conservación, priorizando los riesgos de deterioro según la vulnerabilidad de los materiales constitutivos y la fragilidad estructural de cada ejemplar. La evaluación se basa en el nivel de estabilización física alcanzado mediante los tratamientos de conservación directa, su envejecimiento y la compatibilidad de los materiales utilizados en las diferentes fases. Además, todos los procedimientos empleados deben cumplir con el código ético establecido por la European Confederation of Conservator-Restorers' Organisations (E.C.CO).

La jerarquización de los ejemplares también se implementa teniendo en cuenta su valor social, científico y didáctico (Russell y Winkworth 2009). Una vez estabilizados conservativamente, estos valores facilitan la gestión de la colección según los distintos usos previstos: museográfico, didáctico o de investigación.



Figura 3.- Imágenes obtenidas mediante fotogrametría de las vértebras caudales del ejemplar HUE-EC-03, un saurópodo titanosaurio del yacimiento de Lo Hueco. Este espécimen, también mostrado en las Figuras 1 y 2, destaca por la conservación de su serie caudal.

Algunos datos tendrán diferentes puntuaciones según la valoración numérica que se les aplique. Por ejemplo, las costras minerales sobre los fósiles afectarán de manera distinta a su estabilidad y los tratamientos de conservación necesarios (Crowtner y Collins 1986; Marcos-Fernández *et al.* 2018). Una costra de hierro o la deformación causada por un yeso influirán directamente en la fragilidad del fósil, siendo el hierro más estable y resistente que el yeso. Sin embargo, a nivel didáctico, el hierro, dependiendo de su conservación, puede ocultar la estructura del organismo original, perdiendo valor como recurso educativo. En cambio, su valor jerárquico, entendido como su importancia científica, aumentará si pertenece a un ejemplar articulado y completo, dado que esto aporta más información para la investigación.

Los baremos de conservación de cada elemento se han establecido a partir de estudios bibliográficos sobre materiales y su conservación (Blum *et al.* 1989; Bracci y Melo 2003; Collins *et al.* 2008; Crowtner y Collins 1986; Fenkart-Fröschl *et al.* 2011; França de Sá *et al.* 2016; Howie 1984; ICOMOS 2011; Rubio Domene 2006; Van Driessche *et al.* 2012; Waller 2002). En el caso de aquellos elementos no cubiertos en la literatura o exclusivos de la colección, se realizaron análisis específicos que determinaron el nivel de protección o daño de cada fósil.

Para los elementos de interés científico que son muy revisados por los investigadores, que sean frágiles, débiles o de manipulación compleja se ha habilitado la posibilidad de realizar una manipulación virtual mediante representaciones en 3D. Estas representaciones se obtuvieron utilizando la técnica de estereofotogrametría, siguiendo una variación del protocolo propuesto por Mallison (2011). Se tomaron secuencias de fotografías desde distintos ángulos, variando el número de tomas según la complejidad de la morfología. Estas secuencias variaron entre 70 y 1000

fotografías, dependiendo del tamaño y la complejidad de los fósiles, y se realizaron con una cámara DSLR, controlando la iluminación adecuada para cada ejemplar. Para los ejemplares más pequeños, se utilizó una caja de luz y una mesa rotatoria, mientras que para los más grandes se usaron focos y fondos similares a los de un estudio fotográfico.

La reconstrucción de la morfología 3D se logra mediante la triangulación de puntos comunes en las fotografías, utilizando el software Agisoft Photoscan®. Gracias a esta técnica y al control de la iluminación durante las tomas fotográficas, se logró añadir textura y color fotorrealista a la malla 3D. Todos los modelos virtuales se almacenan en formato ".obj" con su textura correspondiente. En algunos casos, se han virtualizado los ejemplares de manera que se pueda observar la conexión anatómica, incluso si están fragmentados por razones de conservación, ya que su reconstrucción física aumentaría el riesgo de deterioro (Páramo *et al.* 2022) [Figura 3].

Con el fin de optimizar el rendimiento de la base de datos y evitar que se volviera demasiado pesada, se creó una carpeta en el mismo directorio de la base de datos donde se almacenaron las imágenes de los fósiles. Esto permitió vincular las imágenes a los registros correspondientes sin necesidad de cargarlas en la aplicación, lo que contribuyó a mantener un tamaño de archivo manejable.

Descripción de los campos

La ficha de la base de datos comienza con la identificación del fósil y su localización. Para lograr una identificación descriptivo-administrativa, se han adoptado los campos establecidos por las normas y códigos profesionales, como los propuestos por la Comisión Internacional de Nomenclatura Zoológica (2009). En esta primera sección,

se identifican las piezas individualmente mediante los números asignados en el campo, la colección o los proporcionados para exposiciones temporales.

Adicionalmente, se registra la ubicación exacta de cada ejemplar mediante una referencia topográfica, lo que permite localizar fácilmente el lugar donde se encuentra para su estudio o tratamiento. También se documentan los responsables de su investigación, restauración y conservación, junto con información sobre las entidades depositarias o prestatarias y las fechas relevantes de depósito [Figura 4].

La identificación del tipo anatómico permite clasificar el tipo de fósil y evaluar su fragilidad intrínseca. Este proceso se basa en estudios sobre la densidad histológica de los tejidos (Wedel 2003; Woodward 2005), que muestran que, en general, los restos apendiculares son más resistentes mecánicamente que, por ejemplo, las vértebras dorsales o cervicales. Además, se registran pesos y medidas de los restos para complementar esta evaluación.

El estado de preservación es otro aspecto fundamental en la ficha. Este criterio mide la calidad de la preservación de los aspectos anatómicos del organismo productor. Los ejemplares que representan fielmente estos aspectos reciben la máxima valoración (4), mientras que aquellos cuya preservación no permite identificar detalles anatómicos obtienen la mínima puntuación (0).

Existe un riesgo potencial de fragilidad que se valora a partir de los datos recopilados durante la excavación, analizando los riesgos asociados a los métodos empleados (mecánicos, manuales o mixtos). Se contrastan también las fechas de extracción con los datos meteorológicos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), evaluando posibles daños causados por humedad o temperaturas extremas inferiores a 5°C.

Las intervenciones de conservación realizadas en el campo o en el laboratorio también influyen en el estado actual de los ejemplares. Estos tratamientos se registran junto con los problemas de conservación intervenidos y los agentes de deterioro activos que podrían afectar a los ejemplares (Marcos-Fernández *et al.* 2016; Martínez Fernández *et al.* 2019). Los ejemplares en muy buen estado de conservación reciben la máxima puntuación (4).

En cuanto a la composición de los fósiles, el análisis ha identificado tres grupos principales de minerales presentes en la matriz que rodea y rellena los fósiles: arcilla, hierro y yeso. Estos minerales influyen en los protocolos de conservación a aplicar. Los materiales con mayor contenido de arcilla son más vulnerables a la falta de control ambiental y obtienen la valoración máxima de riesgo (4), mientras que aquellos que contienen hierro, por su mayor estabilidad, reciben la valoración mínima (1) (Blanco *et al.* 2016; Marcos-Fernández *et al.* 2018; Marcos-Fernández *et al.* 2020).

Figura 4. Ficha descriptiva y administrativa del húmero fósil (Ejemplar HUE-01549) procedente del yacimiento de Lo Hueco, documentada en el sistema de gestión GBE. La ficha incluye información detallada sobre la identificación, estado de conservación, procedencia, determinación anatómica y fragilidad del ejemplar. Este fósil, clasificado preliminarmente como perteneciente a un titanosaurio indeterminado, conserva características anatómicas que permiten su análisis científico y educativo.

FileMaker Pro Advanced - [GBE Gestion Coleccion - copia]

ArchivoEdiciónVistaInsertarFormatoRegistrosGuionesHerramientasVentanaAyuda

442 / 10207

RegistrosEncontrados (Desord.)

Mostrar todosNuevo registroEliminar registroBuscarOrdenar

Presentación: [Lista Gestión con imagen]Ver como: [Iconos]Vista previa

Editar presentación

UNEDGBE

Listado gestión

+→←🗑️🔍🔍📊📷📅🏠

TOTALES

Sigla**HUE-01343**Sigla_CAG1-C-379

UbicaciónMUPA

PublicadaSanz_et al_2015_jap

NOTAS

DeterminaciónTitanosauria indet.

Caja fondo MRP

Histórico140100- Preparado UNED

EC_01 Epi

EjemplarMetápodo

Visto _S_ SI

140500- Entregado

Determinador

YacimientoLo Hueco - Fuentes (Cuenca). Campaniense-Maastrichtiense

Sigla**HUE-01549**Sigla_CAG1-C-562

UbicaciónMUPA

PublicadaSanz_et al_2015_jap

NOTAS

DeterminaciónTitanosauria indet.

Caja fondo MRP

Histórico140100- Preparado UNED

EC_01 Epi NO 49 Epi Sept20 16apb

EjemplarApéndice humero

Visto _S_ SI

140500- Entregado

Determinador

YacimientoLo Hueco - Fuentes (Cuenca). Campaniense-Maastrichtiense

Sigla**HUE-01612**Sigla_CAG1-C-626

UbicaciónMUPA

PublicadaSanz_et al_2015_jap

NOTAS

DeterminaciónTitanosauria indet.

Caja fondo MRP

Histórico140100- Preparado UNED

EC_01 Epi

EjemplarApéndice tibia y fibula

Visto _S_ SI

140500- Entregado

Determinador

YacimientoLo Hueco - Fuentes (Cuenca). Campaniense-Maastrichtiense

Sigla**HUE-01743**Sigla_CAG1-E-59

UbicaciónMUPA

PublicadaSanz_et al_2015_jap

NOTAS

DeterminaciónArchosauria indet.

Caja fondo MRP

Histórico140100- Preparado UNED

EC_01 Epi

EjemplarMetápodo

Visto _S_ SI

140500- Entregado

Determinador

YacimientoLo Hueco - Fuentes (Cuenca). Campaniense-Maastrichtiense

100

🔍📄🖨️

Visualizar

Fragilidad12

Debilidad2

Interés didáctico18

Interés científico particular14

Interés como colección12

Fragilidad14

Debilidad4

Interés didáctico17

Interés científico particular10

Interés como colección7

Fragilidad13

Debilidad3

Interés didáctico15

Interés científico particular14

Interés como colección12

Fragilidad12

Debilidad2

Interés didáctico15

Interés científico particular14

Interés como colección8

Figura 5.- Listado de gestión de una selección de ejemplares procedentes del yacimiento de Lo Hueco, registrado en el sistema de gestión GBE. Este listado incluye información detallada sobre la identificación de los fósiles, su clasificación anatómica, ubicación, estado de conservación y valoraciones específicas como fragilidad, interés didáctico y científico, así como relevancia como parte de la colección. Estas valoraciones permiten establecer una jerarquización y priorización para la conservación y estudio de los ejemplares.

Asimismo, se evalúa la estabilidad de los materiales utilizados en los tratamientos de conservación y su compatibilidad con las condiciones ambientales. Los ejemplares ubicados en espacios con control ambiental y lumínico reciben una puntuación alta (4), mientras que aquellos almacenados en condiciones no controladas o que contienen materiales inestables reciben la puntuación mínima (0). También se considera la protección proporcionada por soportes. Los soportes orgánicos, debido a su susceptibilidad al biodeterioro, obtienen valoraciones bajas.

En los casos en que los soportes ocultan parcial o totalmente el fósil, se indica la necesidad de priorizar la intervención para permitir una evaluación completa del ejemplar. Además, se analizan los riesgos externos que podrían afectar a la colección, como inundaciones, incendios o cambios climáticos repentinos. Estos eventos pueden causar daños significativos, como la desestabilización de minerales como el yeso y la caliza (Rubio Domene 2006; Van Driessche *et al.* 2012).

Para evaluar el interés científico de los objetos, se emplean criterios de la Comisión de Patrimonio de la Sociedad Española de Paleontología (S.E.P) y del Código Internacional de Nomenclatura Zoológica. Los ejemplares que forman parte de una serie tipo reciben la máxima puntuación (4), mientras que aquellos incompletos o mal preservados obtienen la mínima puntuación (0). Además, se considera el grado de conexión anatómica y la rareza del ejemplar, otorgándose mayor valor a los ejemplares únicos y completos.

En cuanto al valor sociocultural, se aplican criterios propuestos por Russell y Winkworth (2009). Se valora el interés patrimonial que la sociedad puede adjudicar al ejemplar, junto con aspectos como la antigüedad de la colección y su interés didáctico o museográfico. Los ejemplares que destacan por su singularidad y utilidad para transmitir conceptos paleontológicos reciben la máxima valoración (4).

La ficha de datos propuesta constituye una herramienta clave para la gestión eficiente de la colección, permitiendo evaluar cada ejemplar según su importancia, estado de conservación y con más tratamientos aplicados antes de su almacenamiento [Figura 5].

El uso de la base de datos: la jerarquización de la colección

Aunque la herramienta ha sido diseñada principalmente para la jerarquización y gestión de colecciones, su utilidad trasciende este propósito inicial. La base de datos actúa también como un inventario exhaustivo que integra información clave sobre los ejemplares de la colección, incluyendo su determinación taxonómica [Figura 6], datos morfológicos y ubicación topográfica, así como detalles sobre su extracción en el campo y referencias bibliográficas donde se mencionan los fósiles. Este enfoque integral no solo facilita la gestión administrativa, sino que también la convierte en un recurso esencial para la investigación paleontológica, permitiendo rastrear de manera detallada el historial y contexto de cada pieza.

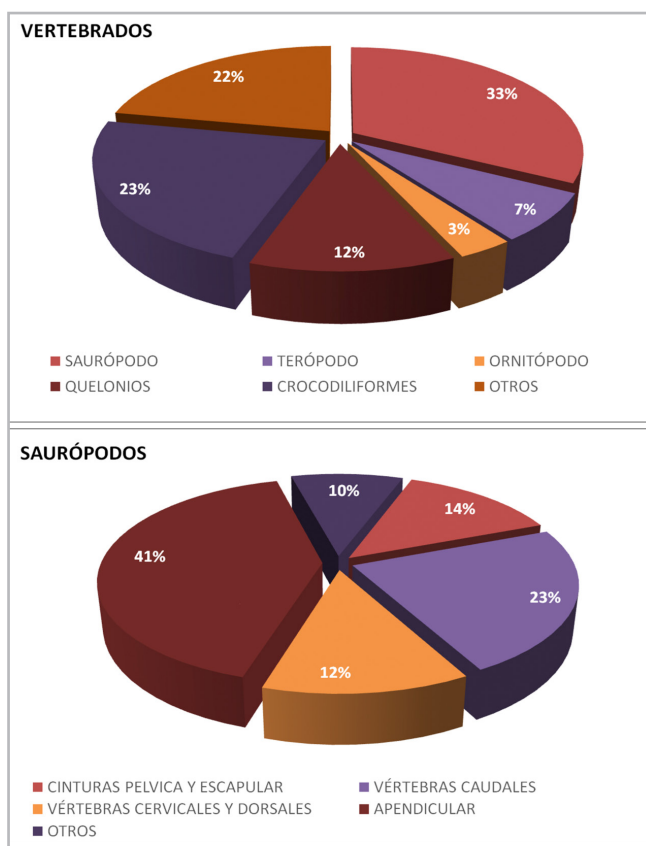


Figura 6.- Distribución proporcional de la fauna de vertebrados fósiles en la colección del yacimiento de Lo Hueco. El gráfico superior representa la proporción de los principales grupos faunísticos, destacando los saurópodos (33%) como el grupo dominante. El gráfico inferior detalla la composición de los restos de saurópodos, donde se observa que los elementos pertenecientes al esqueleto apendicular y las vértebras caudales conforman el 64% del total, siendo los más resistentes. En contraste, las vértebras cervicales y dorsales, que representan un 12%, se consideran los ejemplares más frágiles y por tanto los más difíciles de preservar, lo que influye en su manejo y conservación.

Aunque es posible trabajar con ejemplares de manera individual, la verdadera fortaleza de la herramienta reside en su capacidad para gestionar de manera global la colección de Lo Hueco. A través del análisis de datos relacionados con el estado de conservación y los tratamientos aplicados, se pueden establecer estrategias más efectivas para la conservación preventiva y restauración. Esto no solo optimiza los recursos y las necesidades de la colección, sino que también permite perfeccionar los protocolos de actuación basados en la experiencia acumulada. Por ejemplo, el análisis del estado de conservación revela diferencias significativas entre los ejemplares: mientras que algunos se encuentran en condiciones compactas y estables, otros presentan fisuras o permanecen incrustados en matriz [Figura 7]. Estas variaciones permiten priorizar intervenciones y focalizar esfuerzos en los ejemplares más vulnerables.

La herramienta también aporta una perspectiva crítica sobre la fragilidad y riesgos de la colección, relacionados

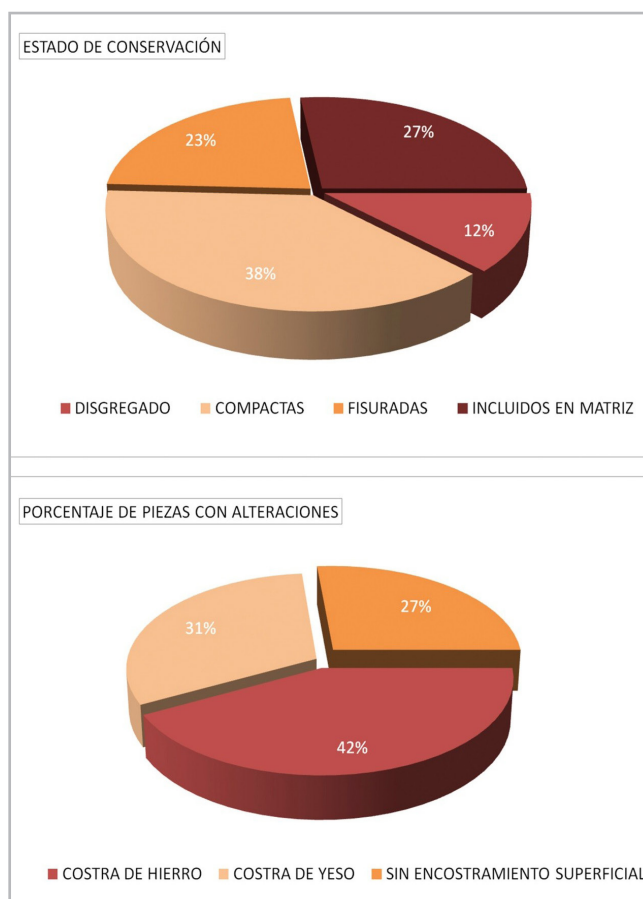


Figura 7.- Proporción de las piezas de la colección de Lo Hueco según su estado de conservación y porcentaje afectado por alteraciones superficiales. En el gráfico superior, se observa la distribución del estado de conservación del material, calculado tras la última revisión de la base de datos, donde un 38% corresponde a piezas compactas, 27% a materiales disgregados, 23% a piezas fisuradas y un 12% permanecen incluidos en matriz. Esta evaluación se realiza mediante revisión organoléptica, por lo que el estado de algunas piezas puede cambiar tras su restauración. En el gráfico inferior, se detalla el porcentaje de fósiles afectados por encostramientos minerales en su superficie: un 42% presenta costra de hierro, un 31% costra de yeso y un 27% no muestra encostramiento superficial. Estas alteraciones están asociadas a variaciones específicas de humedad y temperatura, determinando los tratamientos de conservación necesarios.

con factores intrínsecos de los fósiles y su interacción con el entorno. Por ejemplo, los ejemplares con alto contenido en arcillas son particularmente susceptibles a desestabilizaciones derivadas de fluctuaciones ambientales, mientras que la presencia de yesos puede causar fracturas estructurales y alteraciones en la superficie. A su vez, los óxidos de hierro, aunque más estables, representan un desafío para la restauración y el tratamiento, ya que dificultan el acceso al fósil. Los datos proporcionados por la base de datos permiten cuantificar el porcentaje de ejemplares afectados por estas problemáticas y diseñar estrategias de conservación adaptadas [Figura 8].

Además de la conservación, la herramienta también evalúa el nivel de protección aplicado durante la extracción de los

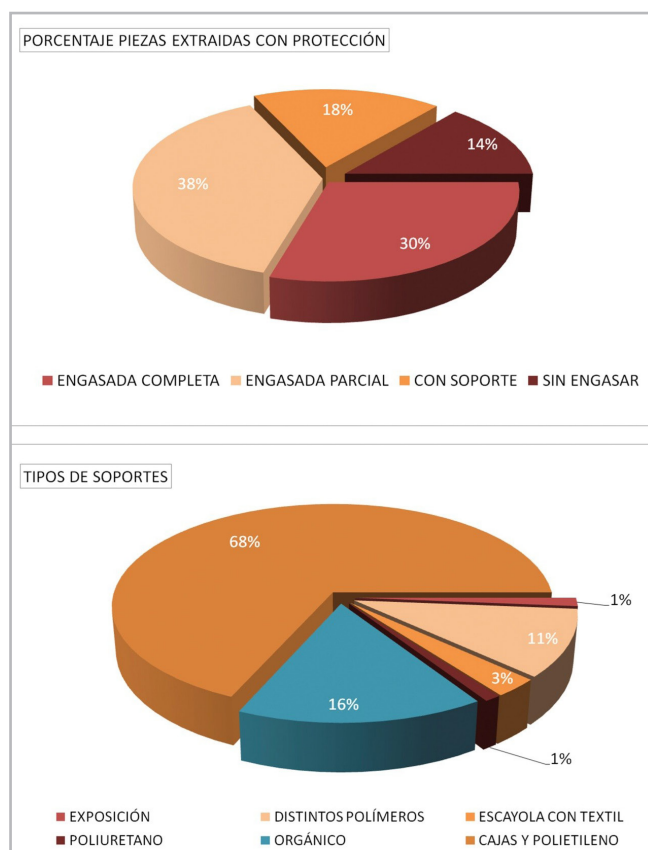


Figura 8.- Proporción de ejemplares extraídos con protección y tipos de soportes utilizados en la colección de Lo Hueco. En el gráfico superior, se muestra que el 38% de las piezas fueron extraídas sin engasar, el 30% con engasado parcial, el 18% con soporte adicional y el 14% con engasado completo, reflejando las diferentes estrategias empleadas para garantizar su integridad durante la excavación. El gráfico inferior detalla los materiales utilizados para los soportes en las piezas protegidas. El 68% corresponde a soportes de poliuretano, seguido de un 16% de materiales orgánicos, un 11% de escayola con textil, un 3% de distintos polímeros y un 1% cada uno para cajas de polietileno y estructuras de exposición. Estos datos reflejan la diversidad de métodos aplicados para la conservación y estabilización de los fósiles.

ejemplares, registrando información sobre si se realizaron engasados completos, parciales o si las piezas se extrajeron con soportes estructurales adicionales. Este tipo de análisis es clave para determinar la efectividad de los métodos empleados en el campo y para guiar decisiones futuras sobre el manejo de fósiles durante excavaciones [Figura 8]. Un aspecto innovador de la herramienta es su capacidad para valorar el patrimonio paleontológico desde una perspectiva multidimensional, combinando criterios científicos y socioculturales. En la colección de Lo Hueco, aproximadamente un 10% de los ejemplares se consideran de valor muy alto en ambos aspectos. Estos fósiles destacan por su estado de preservación y su relevancia científica, siendo muchos de ellos hallados en conexión y con una morfología bien conservada. Sin embargo, cuando desaparece el parámetro de conexión, la relevancia de los ejemplares disminuye entre un 60% y un 70%, situándose en un rango de interés medio-alto.

Estos ejemplares, aunque fragmentados, mantienen un alto valor en términos de difusión, especialmente en contextos educativos o museográficos, gracias a su buena conservación.

Por otro lado, los ejemplares con interés bajo presentan un mayor peso en el valor científico que en el sociocultural. Estos fósiles, generalmente fragmentos menores, son de gran importancia para el estudio paleontológico debido a su singularidad, pero ofrecen escasa relevancia desde una perspectiva expositiva o de difusión al público general. Esta dicotomía entre los valores científicos y socioculturales destaca la necesidad de gestionar y jerarquizar la colección de manera estratégica, equilibrando los intereses técnicos y patrimoniales con las oportunidades de divulgación y educación.

Conclusiones

El análisis integral de las características y necesidades de los ejemplares de la colección de Lo Hueco ha permitido establecer estrategias claras de gestión, investigación y conservación. La herramienta de gestión basada en una base de datos multidisciplinar se ha consolidado como un recurso esencial para organizar, priorizar y optimizar las acciones necesarias en torno al patrimonio paleontológico de este importante yacimiento.

Una de las principales contribuciones de esta herramienta es su capacidad para abarcar la totalidad del ciclo de vida de los ejemplares, desde su localización en el yacimiento hasta su disposición final para investigación o exhibición en el museo. Esto ha permitido no solo mantener ordenada y accesible toda la documentación de la colección, sino también establecer una jerarquización eficiente de las necesidades de conservación. En particular, se ha identificado la eliminación progresiva de los soportes orgánicos, el control de la humedad relativa y la prevención del biodeterioro como prioridades fundamentales para garantizar la estabilidad de los fósiles.

El análisis de riesgos ha evidenciado que, en muchos casos, los materiales introducidos durante los procesos de conservación pueden ser más vulnerables que los propios fósiles. Este hallazgo subraya la necesidad de evaluar de manera constante los métodos y materiales empleados, favoreciendo una mejora continua de los protocolos de conservación.

En términos de restauración y acondicionamiento, se destaca que cerca del 50% de los ejemplares de alto valor científico y sociocultural ya han sido sometidos a procesos específicos relacionados con investigaciones en curso. Asimismo, un total de 105 ejemplares han sido seleccionados y preparados para su exhibición permanente en el Museo de Paleontología de Castilla-La Mancha (MUPA), ampliando el impacto de la colección en el ámbito educativo y cultural.

Finalmente, esta herramienta no solo garantiza una gestión eficiente de la colección de Lo Hueco, sino que también promueve un enfoque estratégico y proactivo para enfrentar los desafíos inherentes al manejo y conservación del patrimonio paleontológico. Asegura que la colección no solo conserve su valor científico, sino que también continúe siendo un recurso cultural y educativo de gran relevancia, capaz de generar impacto tanto en la comunidad científica como en el público general.

Referencias

- BIGENWALD, C. y WALLER, R. R. (2004). Cultural Property Risk Analysis Model: Development and Application to Preventive Conservation at the Canadian Museum of Nature. *APT Bulletin* 35: 57. <https://doi.org/10.2307/4126423>
- BLANCO, M., MARCOS-FERNÁNDEZ, F., RUIZ, P., DÍAZ, S. y ORTEGA, F. (2016). Conservación y restauración del patrimonio paleontológico: innovación técnica en limpieza con láser y papetas en fósiles del yacimiento paleontológico de Lo Hueco. *Ciencia y Arte VI*: Ministerio De Educación, Cultura Y Deporte, Madrid, 322–340.
- BLUM, S. D., MAISEY, J. G. y RUTZKY, I. S. (1989). A method for chemical reduction and removal of ferric iron applied to vertebrate fossils. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 9: 119–121. <https://doi.org/10.1080/02724634.1989.10011745>
- BRACCI, S. y MELO, M. J., (2003). Correlating natural ageing and Xenon irradiation of Paraloid® B72 applied on stone. *Polymer Degradation and Stability*, 80: 533–541. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(03\)00037-5](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(03)00037-5)
- CARRERA, F., (2018). *Conservación preventiva de yacimientos arqueológicos: ¿empezamos?*, en: GEIC Kongresua Congreso 2018 ko Irailaren 20tik 22ra 20-22 de septiembre de 2018. 374–384.
- COLLINS, C., (1995). *Care and conservation of palaeontological material*, Butterworth-Heinemann series in conservation and museology. Butterworth-Heinemann Publishers, Oxford.
- COLLINS, C., ALLINGTON-JONES, L., SABIN, R., LOWE, M., GREGSON, J., PAPWORTH, V. y GOODGER, D., (2008). *Environmental standard for natural history collections - a review and recommendations*. Intern. NHM Publications 62.
- COMISIÓN INTERNACIONAL DE NOMENCLATURA ZOOLOGICA (2009). *Código Internacional de Nomenclatura Zoológica*. 2009. S.I.: The International Trust for Zoological Nomenclature 1999 c/o The Natural History Museum - Cromwell Road - London SW7 5BD - UK. ISBN 8460705889.
- CRISTINA ESCUDERO REMIREZ, (2018). *La conservación del arte rupestre a través de la gestión del entorno natural: el caso de Siega Verde*, en: GEIC Kongresua Congreso 2018ko Irailaren 20tik 22ra 20-22 de septiembre de 2018. 124–134.
- CROWTHER, P. R. y COLLINS, C. J. (Eds), (1986). The Conservation of Geological Material. *The Geological Curator*, 4(7): 375-474.
- DIÉGUEZ, C., MONTERO, A. (1994). Organización y gestión de los fondos paleontológicos. pp. 164-204, en: Sanchíz, B. (Ed.) *Manual de catalogación y gestión de las colecciones científicas de Historia Natural. Manuales Técnicos de Museología*, vol. 1. Madrid, Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. 238.
- DÍEZ DÍAZ, V., MOCHO, P., PÁRAMO, A., ESCASO, F., MARCOS-FERNÁNDEZ, F., SANZ, J.L. y ORTEGA, F. (2016). A new titanosaur (Dinosauria, Sauropoda) from the Upper Cretaceous of Lo Hueco (Cuenca, Spain). *Cretaceous Research* 68: 49–60. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2016.08.001>
- ESCASO, F., ORTEGA, F., GASULLA, J. M. y SANZ, J. L. (2008). New postcranial remains of Rhabdodon from the upper Campanian-lower Maastrichtian of “Lo Hueco” (Cuenca, Spain). *¡Fundamental!*, 11(3): 72. ISSN 15197530.
- FENKART-FRÖSCHL, D., NUNAN, E. y WALLER, R. (2011). *A Database Tool for Collections Risk Evaluation and Planning*. ICOM-CC 16th triennial conference Lisbon 19-23 September 2011: preprints, 1-12.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, S.R. (2000). *Temas de Tafonomía*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, E., MARCOS-FERNÁNDEZ, F., MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, IRENE PÁRAMO BLÁZQUEZ, A. y FRANCISCO, O. (2019). *La influencia de las condiciones ambientales en los sistemas de almacenamiento para la conservación de los fósiles de macrovertebrados*. *Zubia*, La Rioja. Nº31, 303-310. ISSN 0213-4306.
- FERRONI, A. M. (2013). The vulnerability of the archaeological sites: Final Reporte, P.I.S.A Project (2002). En: R. Sullivan y Mackay (ed.), *Achaeological sites: Conservation Management*. S.I.: Getty Publications, Getty Conservation Institute, 174-185.
- FRANÇA DE SÁ, S., FERREIRA, J. L., MATOS, A. S., MACEDO, R. y RAMOS, A. M. (2016). A new insight into polyurethane foam deterioration – the use of Raman microscopy for the evaluation of long-term storage conditions. *Journal of Raman Spectroscopy*, 47(12): 1494-1504. <https://doi.org/10.1002/jrs.4984>.
- HOWIE, F. M. (1984). Materials used for conserving fossil specimens since 1930: a review. *Studies in Conservation*, 92-97. [Consulta: 19 mayo 2014]. Disponible en: <http://www.maneyonline.com/doi/abs/10.1179/sic.1984.29.Supplement-1.92>.
- HOWIE, F. M. P. (1979). *Curation of palaeontological collections: a joint colloquium of the Palaeontological Association and Geological Curators' Group*. Dyfed: Palaeontological Association.
- HOWIE, F. M. (2013). Hazards for the mineral collector, conservator and curator. *The Care and Conservation of Geological Material: Minerals, Rocks, Meteorites and Lunar Finds* [en línea]. London: Butterworth-Heinemann Publishers, 114-121. [Consulta: 24 mayo 2014]. ISBN 9781135385149. Disponible en: <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>.

ICOMOS (2011). *Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns* *Glosario ilustrado de formas de deterioro de la piedra* [en línea]. 2011. París: ICOMOS, International Scientific Committee for Stone (ISCS). Disponible en: <http://www.lrmh.fr/icomos/icomos/consult/index.htm>.

LUIZ, J., ANTONMARCHI, C. y MICHALSKI, S. (2017). *Guía de Gestión de Riesgos para el Patrimonio Museológico* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9789290772699. Disponible en: https://www.iccrom.org/sites/default/files/2018-01/guia_de_gestion_de_riesgos_es.pdf.

MALLISON, H. (2011). Digitizing Methods for Paleontology: Applications, Benefits and Limitations, in: Elewa, A. (Ed.), *Computational Paleontology*. Springer, Berling, 7–43. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-16271-8>

MALLISON, H., & WINGS, O. (2014). Photogrammetry in Paleontology - A Practical Guide. *Journal of Paleontological Techniques* 12: 1–13.

MARCOS-FERNÁNDEZ, F., PLAZA-BELTRÁN, M. y ORTEGA, F. (2018). *La Conservación Preventiva de material paleontológico, la colección de Lo Hueco*. GEIC Kongresua Congreso 2018ko irailaren 20tik 22ra 20-22 de septiembre de 2018. Álava: s.n., 402-410. ISBN 9788409051779.

MARCOS-FERNÁNDEZ, F., SERRANO-MARTÍNEZ, A., ORTEGA, F. (2016). Analytical techniques for marking protocols in paleontological preparation. Conference: VII Jornadas Internacionales sobre Paleontología de Dinosaurios y su EntornoAt: Salas de los Infantes, Burgos, 89-91.

MARCOS FERNÁNDEZ, F., MARTINEZ BUENO, S. y ORTEGA, F. (2019). Patrimonio paleontológico y marca territorio: Cuenca y sus dinosaurios. *Her&Mus*, 20(June): 234-268.

MARCOS-FERNÁNDEZ, F., FERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, E., MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, I., BARTOLOMÉ-SANTOS, S., ONRUBIA-CHINARRO, M. y ORTEGA, F. (2020). Controlled chemical cleaning in paleontological preparation: the use of gels on vertebrate fossil remains from the Late Cretaceous of Spain. *Journal of Iberian Geology*, 46: 335-349. <https://doi.org/10.1007/s41513-020-00129-w>

MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, I., MARCOS-FERNÁNDEZ, F., FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, E., FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, J. y ORTEGA, F. (2019). La reintegración estructural en la restauración paleontológica: estudio de propiedades de diversos materiales . *VIII Jornadas Internacionales sobre Paleontología de Dinosaurios y su entorno*. Salas de Los Infantes: s.n., 2-5.

MOCHO, P., ESCASO, F., MARCOS-FERNÁNDEZ, F., PÁRAMO, A., SANZ, J.L., VIDAL, D., ORTEGA, F. (2024). A Spanish saltasauroid titanosaur reveals Europe as a melting pot of endemic and immigrant sauropods in the Late Cretaceous. *Communications Biology* 7, 1016. <https://doi.org/10.1038/s42003-024-06653-0>

NARVÁEZ, I., BROCHU, C. A., ESCASO, F., PÉREZ-GARCÍA, A., & ORTEGA, F. (2016). New Spanish Late Cretaceous eusuchian reveals

the synchronic and sympatric presence of two allodaposuchids. *Cretaceous Research*, 65: 112–125. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2016.04.018>

ORTEGA, F., BARDET, N., BARROSO-BARCENILLA, F., CALLAPEZ, P.M., CAMBRA-MOO, O., DAVIERO- GÓMEZ, V., DÍEZ DÍAZ, V., DOMINGO, L., ELVIRA, A., ESCASO, F., GARCÍA-OLIVA, M., GÓMEZ, B., HOUSAYE, A., KNOLL, F., MARCOS-FERNÁNDEZ, F., MARTÍN, M., MOCHO, P., NARVÁEZ, I., PÉREZ- GARCÍA, A., PEYROT, D., SEGURA, M., SERRANO, H., TORICES, A., VIDAL, D. y SANZ, J. L. (2015). The biota of the Upper Cretaceous site of “Lo Hueco” (Cuenca, Spain). *Journal of Iberian Geology*, 41(1): 83-99. https://doi.org/10.5209/rev_JIGE.2015.v41.n1.48657

PÁRAMO, B. A., ESCASO, F., MOCHO, P., MARCOS-FERNÁNDEZ, F., SANZ, J.L., ORTEGA, F. (2022). 3D Geometric morphometrics of the hind limb in the titanosaur sauropods from Lo Hueco (Cuenca, Spain). *Cretaceous Research*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2022.105147>

PASTOR PÉREZ, A. y CANSECO DOMÍNGUEZ, O. (2017). Hacia la autosostenibilidad en procesos de excavación: Conservación Preventiva y gestión de riesgos. *Revista Otarq: Otras arqueologías*, 1(1):195. <https://doi.org/10.23914/otarq.v0i1.94>.

PEÑA RUÍZ, C., GALLEGU VALLE, D. y MOLERO GARCÍA, J. (2018). *Una opción sostenible en la conservación patrimonial: el conjunto arqueológico del castillo de la Estrella (Montiel, Ciudad Real)*. GEIC Kongresua Congreso 2018ko irailaren 20tik 22ra 20-22 de septiembre de 2018. 390-400.

PÉREZ-GARCÍA, A., ORTEGA, F. y MURELAGA, X. (2013). Two Synchronic and Sympatric Bothremydidae Taxa (Chelonii, Pleurodira) in the Late Cretaceous Site of “Lo Hueco” (Cuenca, Spain). In *Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology*, 251-259. Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-4309-0_15.

RUBIO DOMENE, R. F. (2006). El material de yeso: Comportamiento y conservación. *Cuadernos de Restauración*, 6: 57-68. Disponible en: http://www.alhambra-patronato.es/ria/bitstream/handle/10514/14026/EL_YESO.pdf?sequence=1.

RUSSELL, R. y WINKWORTH, K. (2009). Significance 2.0: a guide to assessing the significance of collections. 2nd ed. Rundle Mall: s.n. ISBN 9780977544363 (pbk).

VAN DRIESCHE, A. E. S., BENNING, L. G., RODRIGUEZ-BLANCO, J. D., OSSORIO, M., BOTS, P. y GARCÍA-RUIZ, J. M. (2012). The Role and Implications of Bassanite as a Stable Precursor Phase to Gypsum Precipitation. *Science*, 336 (6077): 69-72. <https://doi.org/10.1126/science.1215648>.

WALLER, R. (2002). A risk model for collection preservation. 13th Triennial Meeting Rio de Janeiro: ICOM Committee for Conservation, vol. I, no. ICOM-Committee For Conservation, 102-107.

WEDEL, M. J. (2003). *The Evolution of Vertebral Pneumaticity in Sauropod Dinosaurians*. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 23(2):344-357. <http://www.jstor.org/stable/4524322>.

WOODWARD, B. (2005). *Bone histology of the sauropod dinosaur Alamosaurus sanjuanensis*. From The Javelina Formation, Big Bend National Park, Texas. S.I.: Faculty of Texas Tech University.

Autor/es



Fátima Marcos Fernández

famarcos@ucm.es

Facultad de Bellas Artes (UCM)

<https://orcid.org/0000-0003-4287-3822>

Doctora en Ciencias por la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), con una tesis centrada en la conservación paleontológica (2019, mención internacional). Es licenciada en Prehistoria y Etnología por la Universidad Complutense de Madrid (UCM), graduada en Conservación y Restauración (especialidad en Arqueología) por la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Madrid, y máster en Conservación del Patrimonio por la UCM. Actualmente, es profesora en el Departamento de Pintura y Conservación-Restauración de la Facultad de Bellas Artes de la UCM. Su actividad académica y profesional se centra en la conservación de materiales arqueológicos y paleontológicos, ámbito en el que acumula más de treinta años de experiencia como restauradora, investigadora y docente. Desde 2007 forma parte del Grupo de Biología Evolutiva de la UNED, donde desarrolla tareas de conservación-restauración vinculadas a proyectos de investigación paleontológica. Ha participado en proyectos científicos y campañas de excavación en España, Portugal y Argentina, y ha realizado estancias en instituciones internacionales como el Museum of Scotland (Edimburgo) o la Universidad Nacional de San Luis (Argentina). Imparte docencia universitaria en asignaturas vinculadas a la conservación arqueológica y dirige Trabajos de Fin de Grado y de Máster. Es autora de más de veinte publicaciones científicas y técnicas en revistas indexadas y ha participado en más de cincuenta congresos nacionales e internacionales.

Compagina su labor docente e investigadora con una consolidada trayectoria profesional como restauradora autónoma, colaborando con administraciones públicas y museos en la conservación y restauración del patrimonio cultural. Entre los reconocimientos recibidos destacan la Placa al Mérito Regional de Castilla-La Mancha (2016) y el Premio Europa Nostra (2013) por la restauración del Teatro Romano de Medellín.



Santiago Martín de Jesús

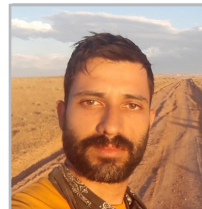
santiagomartindejesus@gmail.com

Universidad de Salamanca

<https://orcid.org/0000-0002-0896-7000>

Licenciado en Geología por la USAL. Tesis de Licenciatura sobre Crocodylidae del Paleógeno de la Cuenca del Duero. Master en Informática por la UPSA. Recorrido laboral como investigador el PFPI en la USAL, programador, diseñador gráfico, diseñador web freelance (<https://mardeasa.es>) y docente de informática en

centros de formación para el empleo y en el CRMF de Salamanca. Desde 2014 gestiona la Colección de Vertebrados Fósiles de la Cuenca del Duero de la USAL, elaborando los proyectos de musealización e inventario y colaborando con el Grupo de Biología Evolutiva de la UNED en numerosas investigaciones sobre la herpetofauna del Cenozoico de la Cuenca del Duero.



Pedro Mocho

p.mochopaleo@gmail.com

Grupo de Biología Evolutiva-UNED

<https://orcid.org/0000-0002-3348-5572>

Licenciado en Geología por la Facultad de Ciencias de la Universidad de Lisboa y doctor en Biología y Ciencias de la Alimentación por la Universidad Autónoma de Madrid (2016). Fue becario de doctorado de la FCT e investigador postdoctoral en el Dinosaur Institute del Museo de Historia Natural de Los Ángeles (EE.UU.), entre 2016 y 2018, donde desarrolló su investigación sobre la diversidad de saurópodos en el Jurásico Superior de la región Peri-Norte Atlántica. Actualmente, es investigador postdoctoral en el Instituto Dom Luiz de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Lisboa (FCUL), desde 2019, y miembro del Grupo de Biología Evolutiva de la UNED. Su investigación se centra en el estudio de la filogenia y la paleobiogeografía de dinosaurios y otros reptiles mesozoicos, especialmente saurópodos de Europa, África y América del Norte, provenientes del Jurásico Medio hasta el final del Cretácico Superior. Actualmente imparte clases en el Departamento de Geología de la FCUL y ha dirigido varias tesis de doctorado, máster y proyectos de licenciatura. Pedro Mocho es autor de 38 artículos en revistas indexadas, 7 capítulos de libros y más de 130 presentaciones en conferencias científicas. Mocho es autor de 15 actos nomenclaturales y ha participado en proyectos de investigación financiados por la Comisión Europea y otras instituciones nacionales e internacionales. Ha colaborado con más de 70 coautores de más de 30 instituciones. Pedro Mocho ha liderado y participado en varias expediciones paleontológicas en Portugal, España, Estados Unidos de América, Brasil y Líbano. Además, ha ayudado a promover actividades de divulgación científica, incluyendo exposiciones en museos y colaboraciones en documentales y artículos para el público general.



Adrián Páramo Blázquez

adrian.paramo@unirioja.es

Grupo de Biología Evolutiva-UNED

<https://orcid.org/0000-0002-7746-5493>

Paleontólogo, personal investigador contratado en el Centro de Computación Científica e Innovación Tecnológica, Universidad de La Rioja. Doctor en Biología (UAM) especializado en paleontología computacional. Ha participado en numerosos proyectos de investigación financiados, tanto como director como miembro del equipo de investigación. Ha organizado y participado en numerosos encuentros y congresos científicos.

Posee publicaciones en revistas indexadas, y repositorio público de código abierto. Dentro del campo profesional tiene competencias técnicas de digitalización 3D de bienes culturales, restauración virtual, morfometría geométrica, y anatomía de dinosaurios. Sus líneas de investigación principales son la paleobiología y evolución dinámica en dinosaurios saurópodos y recientemente la paleoicnología digital asistida por técnicas de visión computacional y machine learning. Ha elaborado informes técnicos para valoración de patrimonio paleontológico en proyectos propios, concursos públicos y en contratos de transferencia (art. 60 LOSU).



Marta Plaza Beltrán

mplazabe@art.ucm.es

Facultad de Bellas Artes (UCM)

<https://orcid.org/0000-0003-4545-6426>

Doctora y Licenciada en Bellas Artes (UCM) en la especialidad de restauración. Profesora Titular del Departamento de Pintura y Conservación-Restauración de la Facultad de Bellas Artes (UCM). Su línea de investigación, académica y profesional se centra en la Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural. Ha impartido docencia en diferentes titulaciones de Licenciatura, Grado y Máster, en la Universidad pública (UCM) y en la privada (Universidad SEK, IE University). Con estancias en centros docentes de Italia, Portugal, Taiwán, etc. Ha participado en numerosos proyectos de investigación y de docencia financiados, como directora y como miembro del equipo de investigación (I+D+I, art. 83, PIMCD). Igualmente, ha participado en importantes encuentros, seminarios y congresos. Posee publicaciones en revistas indexadas, así como monografías. Dentro del campo profesional ha sido responsable de la dirección técnica de obras de conservación-restauración en diferentes ámbitos: pintura mural, retablistica, escultura, pintura de caballete, material etnográfico, etc. mediante contratación directa y concursos públicos a través de empresa propia (Sociedad Limitada). Ha trabajado para instituciones públicas y privadas (Patrimonio Nacional, Museos, Ministerios, Comunidades Autónomas, Diputaciones, Ayuntamientos, Embajadas, Obispos, Fundaciones, etc.). Ha elaborado informes técnicos específicos para concursos públicos y peritajes de conjuntos artísticos. Vinculado con la puesta en valor de conjuntos históricos destaca la realización de facsímiles de pinturas murales (gran formato). Miembro del comité científico y revisora de varias revistas especializadas. Revisora en dos editoriales, nacional e internacional. Evaluadora de la Agencia Estatal de Investigación (AEI).



Francisco Ortega

fortega@ccia.uned.es

Facultad de Ciencias de la UNED

<https://orcid.org/0000-0002-7431-354X>

Francisco Ortega es Doctor en Ciencias Biológicas (Paleontología) y Profesor Titular en la Facultad de Ciencias de la UNED (Madrid), donde imparte asignaturas relacionados con la biodiversidad para

estudiantes de Ciencias Ambientales. Además, es el Investigador Principal del Grupo de Investigación en Biología Evolutiva de la UNED, centrado en la historia evolutiva de los reptiles mesozoicos, especialmente cocodrilos y dinosaurios, así como en sus ecosistemas. Ha sido autor de más de cien publicaciones indexadas en revistas científicas y técnicas, y ha participado en más de 400 congresos científicos. Su investigación se enfoca principalmente en el análisis del registro fósil en yacimientos triásicos, como El Atance (Guadalajara); jurásicos, sobre todo de la cuenca lusitánica en Portugal; y cretácicos, tanto del Cretácico Inferior (Las Hoyas en Cuenca y Morella en Castellón) como del Cretácico Superior (Lo Hueco en Cuenca y Poyos en Guadalajara). Ha participado en proyectos de investigación paleontológica en España, Portugal, Níger, Argentina y Estados Unidos, actuando como investigador principal en distintos proyectos, tanto autonómicos como del Plan Nacional de I+D+i. Además, ha dirigido más de 50 campañas de excavación del más de un centenar en las que ha colaborado. En el ámbito de la gestión del patrimonio paleontológico, ha sido conservador de las colecciones de paleontología del Museo de las Ciencias de Castilla-La Mancha en Cuenca, y ha estado involucrado en la creación de proyectos museológicos y museográficos, como el MUJA en Colunga, el Museo de las Ciencias de Castilla-La Mancha y el Museo Paleontológico de Castilla-La Mancha, así como en múltiples proyectos expositivos temporales y audiovisuales dirigidos a la divulgación de la ciencia a través de la paleontología en España, Portugal y Japón.

Artículo enviado el 12/10/2021

Artículo aceptado el 03/04/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v27i1.1067>



Documentation of the current state of the southern elevation of the temple of Our Lady of Candelaria: application of photogrammetry as an auxiliary technique for data acquisition

Isaías Edén Vizcaíno-Hernández, Miguel Angel Soto-Zamora, Alejandro Acosta-Collazo, Rubén Alfonso López-Doncel

Resumen: A survey of the Temple of Our Lady of Candelaria in Villa Purificación, Jalisco, Mexico, was conducted with the objective of creating a architectural representation that includes the identification of materials and their deterioration. Digital photogrammetry was used to take organized photographs using a handheld camera and a drone. The result was a point cloud that was used to develop architectural drawings in CAD software, obtaining relevant information on dimensions and materials. Based on this, color mapping was performed on the south facade of the temple to identify different materials and lesions. It is considered that the implementation of photogrammetry resulted in a reliable and useful technique, although it has some drawbacks that can be detailed later with the same photographic collection. The contextualization of the environment revealed possible causes of deterioration related to humidity in a semi-humid tropical environment, for example: bulky elements such as buttresses generate periods of sun and shade, reducing the evaporation of humidity necessary for the proliferation of organisms.

Palabras clave: photogrammetry, building materials, historical heritage, deterioration, architectural representation

Documentación del estado actual del alzado sur del templo de Nuestra Señora de la Candelaria: aplicación de la fotogrametría como técnica auxiliar para la obtención de datos

Abstract: Se realizó un levantamiento del Templo de Nuestra Señora de la Candelaria en Villa Purificación, Jalisco, México, con el objetivo de crear una representación arquitectónica que incluyera la identificación de materiales y su deterioro. Se empleó la fotogrametría digital, capturando fotografías ordenadas con una cámara de mano y un dron. El resultado fue una nube de puntos utilizada para desarrollar dibujos arquitectónicos en software CAD, obteniendo información relevante sobre dimensiones y materiales. Sobre de ello se realizó un mapeo de colores en la fachada sur del templo para identificar diferentes materiales y lesiones. Se considera que la implementación de fotogrametría resultó en una técnica confiable y útil, aunque presenta algunos inconvenientes que pueden detallarse posteriormente con la misma colección fotográfica. La contextualización del entorno reveló posibles causas de deterioros relacionados con la humedad en un ambiente tropical semi húmedo, por ejemplo: elementos abultados como los contrafuertes generan lapsos de sol y sombra disminuyendo la evaporación de la humedad necesaria para la proliferación de organismos.

Keywords: fotogrametría, materiales de construcción, patrimonio histórico, deterioro, representación arquitectónica

Documentação do estado atual do alçado sul do templo de Nossa Senhora da Candelária: aplicação da fotogrametria como técnica auxiliar para aquisição de dados

Resumo: Foi realizado um levantamento do Templo de Nossa Senhora da Candelária, em Villa Purificación, Jalisco, México, com o objetivo de criar uma representação arquitetônica que incluía a identificação dos materiais e do seu estado de deterioração. Utilizou-se a fotogrametria digital para captar fotografias organizadas com uma câmera portátil e um drone. O resultado foi uma nuvem de pontos utilizada para desenvolver desenhos arquitetônicos em software CAD, obtendo informações relevantes sobre dimensões e materiais. Com base nestes dados, foi realizado um mapeamento cromático da fachada sul do templo para identificar diferentes materiais e danos. Considera-se que a implementação da fotogrametria resultou numa técnica fiável e útil, embora apresente algumas limitações que podem ser detalhadas posteriormente com o mesmo conjunto fotográfico. A contextualização do ambiente revelou possíveis causas de deterioração relacionadas com a humidade num clima tropical semi húmido; por exemplo, elementos volumosos como contrafortes geram períodos de sol e sombra, reduzindo a evaporação da humidade necessária à proliferação de organismos.

Palavras-chave: fotogrametria, materiais de construção, património histórico, deterioração, representação arquitetónica

Introduction

Starting from the importance and society's right to preserve assets with historical, artistic, cultural, and/or architectural value due to the existing identity link between them (Taller 2014: 11), the need to document their current state is addressed. Documentation is recognized as a fundamental activity in conservation, acting as an information base that progressively collects significant data on history, architectural appearance, material characteristics, damage records, modifications, and other aspects, including use and interaction with society (Balandrano 2024). The main purpose of this database for future generations and those involved in subsequent interventions or research, aiming to improve decision-making and ensure, as much as possible, the longevity and authenticity of built heritage (Nieto *et al.* 2009: 238; Villegas *et al.* 2014: 2).

Located in the municipality of Villa Purificación, Jalisco, Mexico, the Temple of Our Lady of Candelaria (TOLC) [Figure 1], is a structure built between the late 16th and early 17th centuries. Because of its historical significance, it has been declared a Historical Monument under the registration number I-0011500836 (INAH 2022). Their architectural plan has a longitudinal east-west orientation, obtaining greater solar radiation to the south [Figura 1:F]; composed of a pair of bell towers on either side of the access to the main nave, the north side has a chapel and the south side consists of various buttresses and an inscribed sacristy, its structural elements are mainly made of masonry, made with a combination of stone and baked red brick, agglomerated with lime mortar. While some facades are plastered and painted [Figure 1:A, B], The

south facade has exposed materials where deterioration can be observed, which is estimated to be mainly due to weathering processes, among which the following could be highlighted: the presence of humidity that invades the buildings through mechanisms such as capillarity, condensation, infiltration, filtration, accidental or due to use (Casas 2018: 42); solar exposure that generates thermal expansion and contraction in the materials; among other environmental factors. Resulting in progressive deterioration, which can be found defined in the ICOMOS Glossary: cracking and deformation, peeling or flaking, induction of failures due to loss of material, discoloration and deposits, and biological colonization (ICOMOS 2008: 2). As a result, the south facade of temple has an aged appearance [Figure 1:C], characteristic of historic buildings that have endured prolonged exposure to environmental conditions and lack of maintenance.

Today, various techniques are available to document the physical characteristics of buildings and their current state, including manual surveys, topographic equipment, LiDAR systems, photogrammetry, or laser scanning (Li *et al.* 2023: 2; Pepe *et al.* 2023: 5720; Pérez S. *et al.* 2023: 27). The information obtained can be used to create 2D architectural representations, which remain important because of their simplicity and accessibility to a variety of professionals in the conservation field. These architectural representations are commonly used to illustrate different materials, lesions or features identified by shading and hatching (Andaluz *et al.* 1994: 147; Arriaga *et al.* 2017: 39).

This article deals with the implementation of digital photogrammetry as an auxiliary technique to carry out the

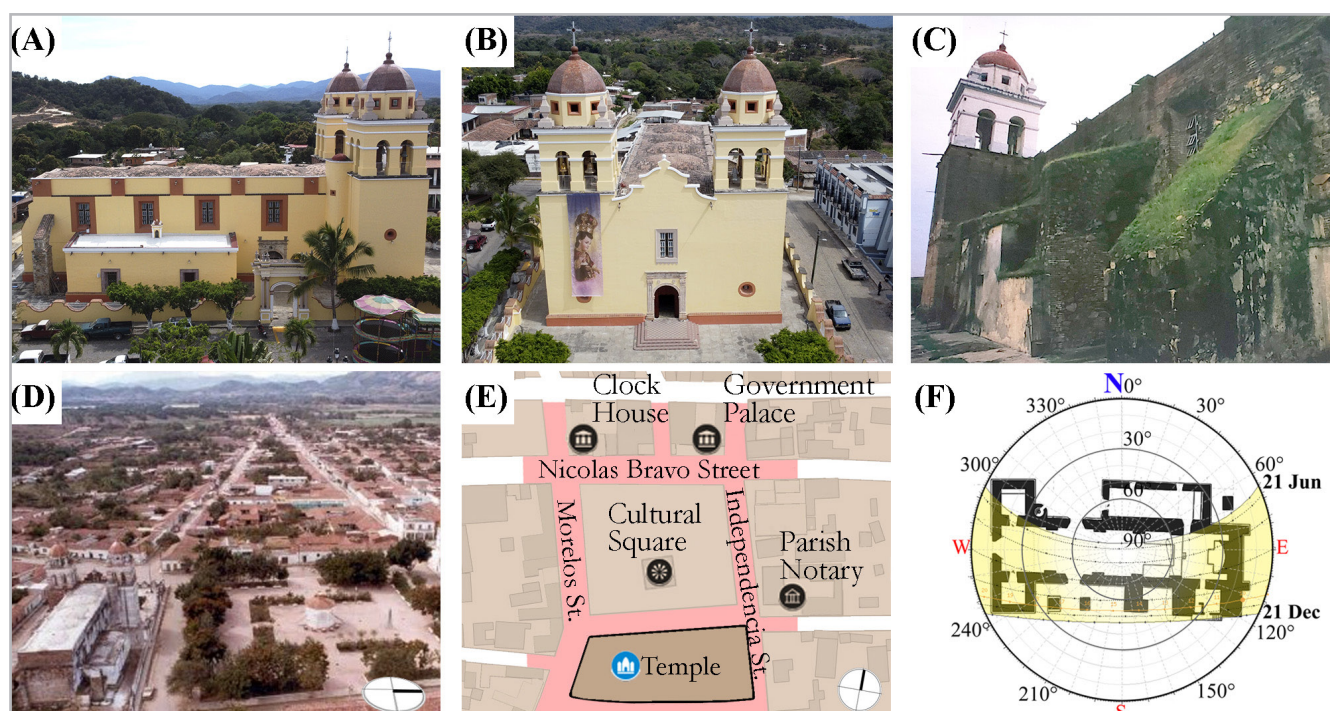


Figure 1.- A) North facade, (B) main west facade, (C) south facade, appearance in 2004 (Ascencio *et al.* 2004). (D) The town of Villa Purificación in 2000 (Jalisco 2023), (E) original urban layout (Google 2023), (F) ground floor (SunEarthTools 2023)

data collection required for the development of architectural drawings, describing the location of materials and the presence of some lesions through mapping techniques. It describes the procedure required to obtain photographs, the scaling process within photogrammetry, and how this information is used for processing in 2D computer-aided design (CAD) applications.

Historical context of the Temple

The town of Villa de la Purificación has kept its name since it was founded in 1533 by Juan Fernández de Híjar, who acted on the orders of Nuño Beltrán de Guzmán to annex these lands to New Galicia under the Spanish Crown. The settlement follows an urban layout that partially corresponds to the orders of Charles V, who described five main avenues that lead to the central plaza, administrative palaces, the royal house and the temple, all located in isolated plots [Figure 1:E]. The plaza serves as a convergence point for the avenues, facilitating the distribution of pedestrians. It also indicates the placement of the temple on a raised platform above the surrounding streets to highlight its hierarchy and divert rainwater. (Regalado 2008: 88).

Since colonial times, these areas have been known for their marked contrasts between the dry and wet seasons [Figure 2:A, B]. For example, the explorers' letters describe vast dry plains and brown hills due to the exposed soil and leafless tree trunks. This description proved inconvenient for the first occupying battalions, who arrived at a place of dense vegetation, pests, and overflowing rivers, causing these initial incursions to be withdrawn. (Regalado 2008: 103; Torales and Lazos 2016: 28). Today, these types of ecosystems are recognized as semi-humid, deciduous forests, typical of the tropics. Thus, in this site the average annual temperature is

24.1°C, with average maximum and minimum temperatures of 35.0°C and 13.7°C, respectively; as well as an average annual precipitation is 1,282 mm³ (IEG 2023).

Geological context

The geological description of this town places it on an alluvial deposit of sedimentary rock. The valley is bordered by different geological formations: To the north, the mountain system of the Sierra Madre Occidental, composed mainly of intrusive igneous rocks such as granite-granodiorite; to the east, hybrid igneous formations between tuffs and andesites; to the south, the alluvium continues with some islands of different sedimentary conglomerates; and to the west, there is a region of extrusive igneous formations of andesite, along with an extension of sedimentary conglomerates between shales and sandstones (SGM 2023), see [Figure 2:C].

Characterization of temple materials

It is known that the study of pathologies in buildings and their manifestations in the form of degradation require comprehensive multidisciplinary studies. This article deals in a cursory manner with the relationship between the properties of the materials of the temple and the injuries present in it, since it is known that the physical properties such as density, porosity and absorption of stone materials are directly related to their compressive strength and durability (Raheem 2019: 143). (Raheem 2019: 143). Therefore, the characterization of some materials that make up the TOLC was developed by studying some fragments of detached stones. Their origin is recognized by visual similarities with the stones of the building, such as color, texture and oxidation (the stones have an orange surface).

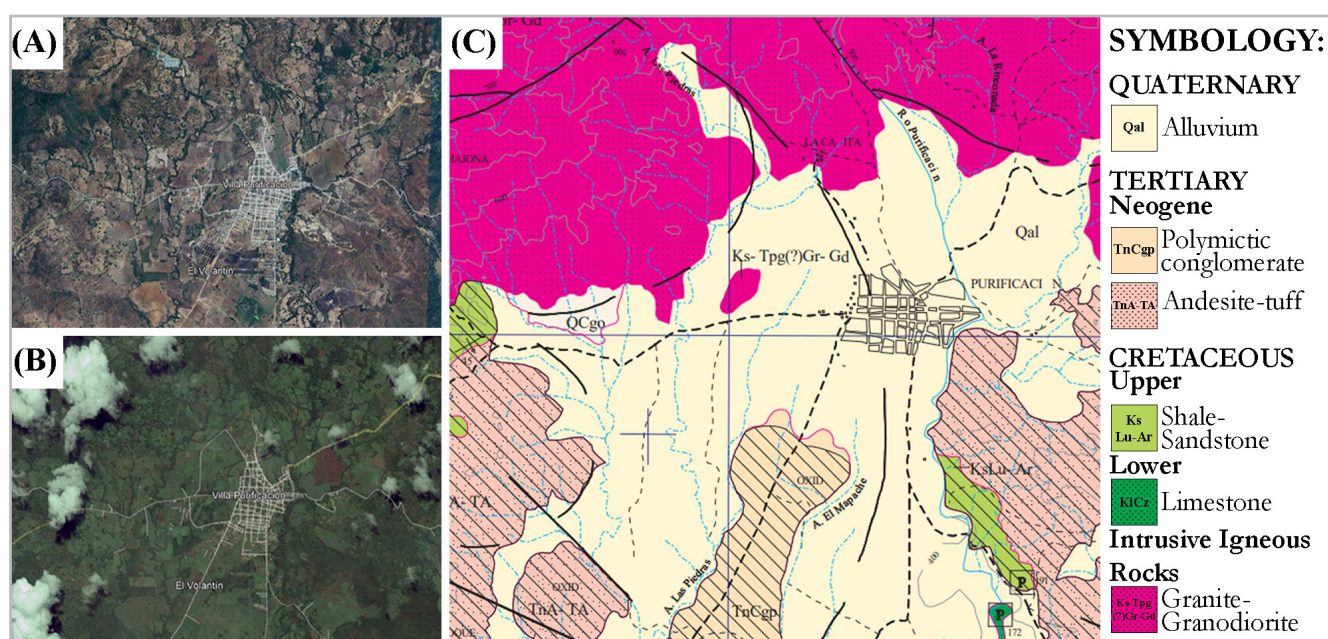


Figure 2.- Contrasts between: (A) dry season (B) rainy season (Google, 2023). (C) Geological map excerpt (SGM 2023)

Sample	Weight (grams)			Apparent density	Matrix density	Absorption	Porosity
	dry	saturated	submerged 19° C	cm ³	cm ³	%	%
PC-1	68.21	71.51	45.19	2.588	2.963	4.84%	12.54%
PC-2	37.29	39.49	25.21	2.608	3.087	5.90%	15.41%
PC-3	42.61	43.31	26.37	2.512	2.624	1.64%	4.13%
PC-4	51.19	53.76	34.19	2.612	3.152	5.02%	13.13%
PC-5	403.17	406.68	259.68	2.739	2.810	0.87%	2.39%
PC-6	321.94	323.95	199.48	2.583	2.629	0.62%	1.61%
LD-7	372.96	461.37	234.58	1.645	2.695	23.70%	38.98%
LD-8	385.44	485.71	237.54	1.553	2.606	26.01%	40.40%

Table 1. - Physical properties of materials

Three different types of igneous rock were identified among the recovered stone samples. In addition, two pieces of fired red brick, currently produced in the region, were included. It is assumed that they can be considered representative due to their similarity in origin and production materials.

To begin the physical studies, it is necessary to cut the samples into regular quadrangular prisms, using some bench saws. These specimens receive the following names: Orange Stone (PC-1 and PC-2), Black Granite (PC-3 and PC-4), Gray Granite (PC-5 and PC-6), and Brick (LD-7 and LD-8). Activities include:

1. Determination of the dry weight obtained by drying the samples for 24 hours at a minimum temperature of 60°C [Figure 3:B].
2. Recording the saturated weight, obtained by soaking the samples in distilled water for 24 hours and then superficially drying them [Figure 3:A].
3. Submerged weight, obtained by suspending the samples from a balance and immersing them in a container of distilled water at room temperature.

These data are used to calculate apparent density, matrix density, absorption and porosity. (López *et al.* 2018; UDELAP 2023: 28), see [Table 1].

Representation of the current state

To represent the current situation of the TOLC, the objective was set to carry out a survey using digital photogrammetry to obtain vertical views that will serve as the basis for the development of a 2D architectural representation using CAD applications. This elevation view is useful for delineating the materials and deterioration of the building.

It is understood that photogrammetry is based on the principle of structure from motion (Locher *et al.* 2018:

1). This concept suggests that three-dimensionality is interpreted from at least two planar images with significant overlap between them. In this way, passive triangulation can be used to determine the location of points in a digital environment. It is estimated that both photogrammetry and laser scanning began to be used in large-scale historic monument documentation projects around the year 2000 (Levoy *et al.* 2000: 1).

Photogrammetry has gradually improved due to the increasing processing power of computers, and is now considered a competitive technique due to the automation that emerged around 2010 (Janvier *et al.* 2016: 354). This has led to the recognition of photogrammetry by the International Council on Monuments and Sites (ICOMOS) (Tamayo N. *et al.* 2010: 2; Korro *et al.* 2023: 24). It is also recognized by different authors as a technique for the architectural documentation of historical elements (Medina Carrillo 2014: 4), and as an aid in identifying lesions (Sánchez L. and Soto Z. 2021: 89).

Although photogrammetry has achieved improvements in its automation, allowing anyone with minimal training to digitize a real element, it is considered that a good photographic survey, as well as a good choice of the moment of capture, can lead to better results and even reduce the processing time within specialized photogrammetry software.

Materials and methods

Prior to the collection of the necessary photographs for the modeling by photogrammetry, some preliminary planning activities are considered essential, which consist of:

1. Identifying the site, taking into account the existing obstacles (Figure 4) and the hours of sunlight. This helps to determine the photographic acquisition circuits that can be applied. In addition, a schedule was defined for the photographic captures near sunrise, when

natural lighting is favorable, avoiding high contrasts, reflections from direct solar radiation and lens flares in the background.

2. To confirm the scale of the resulting model, some markers were placed [Figure 4]. Their positions were later determined using the UTM Zone 13N (WGS84) coordinate system, with X, Y, and Z values obtained from topographic instruments.

1	2180304.223000	541822.532000	440.611000
2	2180280.392000	541787.039000	439.868000
3	2180280.557000	541793.899000	439.830000
4	2180282.170000	541828.163000	440.275000

Table 2.- Referenced markers (X, Y, Z). UTM Zone 13N, WGS84

Given the obstacles previously identified, it was decided to carry out different photographic surveys according to the instruments available:

1. Ground Survey [Figure 5:A] Since the entire building perimeter is accessible on foot, this survey was conducted manually using a Samsung Galaxy S10e smartphone with a 12-megapixel (MP) camera, f/2.4 aperture, dual-pixel autofocus, and optical image stabilization. The device captured JPG images at 3024×4032 pixels and 72 dpi. During the survey, photos were taken in circles at different levels to obtain images perpendicular to the facade. Three circuit levels were completed: two with the camera perpendicular to the building and a final level tilted $\pm 45^\circ$ upward to avoid capturing the sky.

2. Aerial survey [Figure 5:B] For this process, a DJI Mini 2 aircraft was used with a 12 MP camera, f/2.8 aperture,

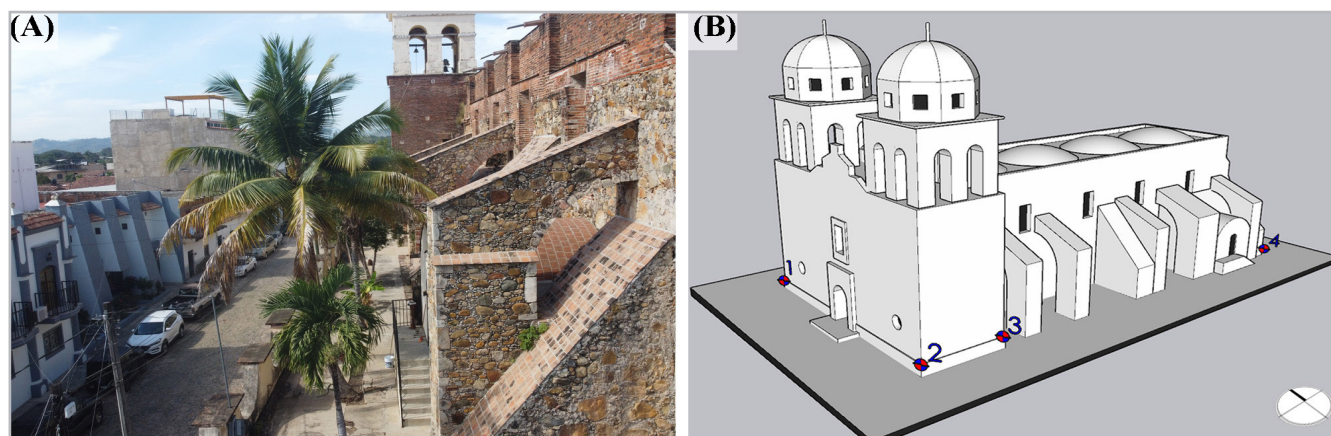


Figure 4.- (A) Identification of obstacles: aerial wiring and vegetation. (B) Location of markers in the temple.

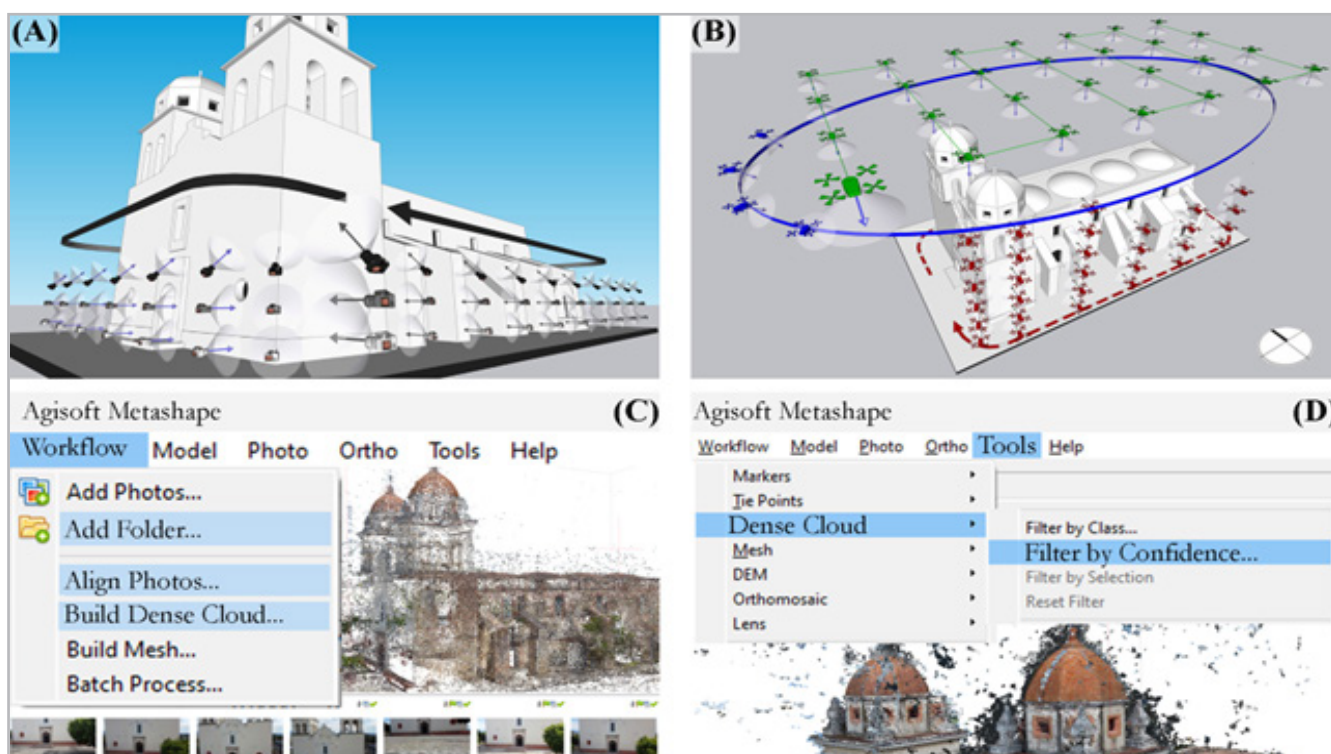


Figure 5. (A) Ground loops for photogrammetric surveys (B) Routes and airborne loops for photogrammetric surveys. (C) Workflow in photogrammetry software. (D) Point cloud cleaning.

obtaining images of 4000 x 2250 pixels and a resolution of 72 dpi; this drone was controlled by the DJI_fly application (DJI 2023) for free flights and DH_mobile (D.H. 2023) for scheduled flights. Considering the presence of obstacles that could interfere with the aircraft, three types of captures were implemented: 1) Column-like captures, where the aircraft was deployed in accessible areas to obtain images perpendicular to the facade from the ground up to the maximum height, repeating this process around the perimeter (red); 2) helical circles, overcoming the height of cables and trees, performing circles with a camera tilt angle between 30° and 60° downwards (blue); 3) snake flight, taking perpendicular photos of the building's floor plan along a planned route, maintaining a constant height and following a snake-like or zigzag trajectory (green).

Digital photogrammetric processing was performed using Agisoft Metashape software (Agisoft 2020), with a total of 857 photographs and four referenced markers. The modeling within the software followed an intuitive workflow (Figueroa C. and Pacheco M. 2016: 35; Vizcaíno and Soto 2018: 111; Sánchez L. and Soto Z. 2021: 64). Basically, the steps followed for this process included: adding photos to the software, photo alignment (highest accuracy, 40,000 key points and 4,000 tie points), optimizing cameras alignment (using referenced markers), to obtain a sparse point cloud of 604,091 points, subsequently creating a dense point cloud (medium quality and mild filtering), to obtain a total of 16,861,508 points [Figure 5:C], and finally, cleaning points in the dense cloud, supported by selection tools, confidence level selection or color selection [Figure 5:D].



Figure 6.- Clean point cloud, within the SketchUp software, perpendicular views: (A) south elevation view and (B) rooftop plan.

At the end of the photogrammetric activities, a dense point cloud with colors is obtained which, due to its density, can be visualized as a 3D model. This point cloud can be viewed in a specific software where, thanks to the manipulation of the camera, it is possible to align the object of study perpendicularly [Figure 6]. Unlike a traditional photograph, these visualizations do not have perspective distortions or vanishing points; this allows direct drawing on them, allowing scaled and proportional dimensions, even for elements that are difficult to access due to their height. In this way, the desired architectural representations are achieved.

The software used was SketchUp Studio (Trimble 2023) which implements an internal extension called essentials that allows the base program to visualize the point cloud in this 3D environment. This is done to maintain the scale of the image seen from the point cloud. Thus, most of the drawing is done directly in SketchUp and the images are saved in a perpendicular view to finalize the details in AutoCAD (Autodesk 2021), a program specialized in 2D digital drawing, which facilitates the representation of textures, hatching, line thickness, transparencies, among other predefined elements.

Mapping of materials and deterioration

As part of the objective of this article, the development of a mapping technique is proposed. This technique involves drawing with shading or hatching, which allows the communication of specific characteristics through the inclusion of a list of symbols. The aim is to help understand the distribution and delineation of material changes and the presence of various deterioration.

Materials and methods

Once the architectural elevation for the mappings is obtained, the features to be represented are delineated:

1. Material mapping: Three main types of materials were identified on the facade: exposed stone masonry, exposed brick masonry, and coatings with varying degrees of wear.

2. Deterioration Mapping: Following the glossary of deteriorations for stone elements proposed by ICOMOS, six categories of alterations were identified on the building: cracks and deformations; detachments and flakes; failure inductions; discolorations and deposits; biological colonizations; and restorations.

Both types of mappings were represented using AutoCAD software (Autodesk, 2022), for its tools to define regions (polyline) and shading (hatching). The mappings were based on the results of the perpendicular view obtained from the dense point cloud. A higher level of detail was achieved by consulting and corroborating the collection of images taken during the photographic study.

Results and discussion

—Materials characterization

Considering the igneous origin of the stones present in the Temple of La Candelaria and the geological environment of Villa Purificación, where there is a greater presence of igneous rocks in the mountainous formations to the north, it is proposed that these rocks could have been transported downhill by rainwater channels [Figure 7:A], from where they were extracted for use in the construction of the temple walls. This could be explained by the condition of the stones, which have rounded or smoothed edges [Figure 7:B], a common characteristic of rocks that have been carried or eroded by water currents.

The physical characterization of the recovered materials, presented in Table 1, shows that the stones used in the



Figure 7.- (A) Pluvial causes. (B) Rounded-edged stones on the second buttress in front of the gate. (C) First buttress behind the tower, damage mainly to bricks and mortar.

temple walls mostly have low absorption (less than 6%) and porosity (between 1.6% and 15.4%). In contrast, the bricks have an absorption of more than 23.7% and a porosity of more than 38.9%. Following the assertions of other authors who establish a relationship between the durability of a material and its porosity (Raheem 2019: 143), it can be estimated that materials such as bricks and mortar will have a lower durability compared to the igneous rocks that make up this historical structure, being more affected by deterioration [Figure 7:C].

Architectural representation of the current state

The photogrammetric survey has allowed the development of an architectural representation in plan [Figure 8:B] and

elevation [Figure 8:A], facilitating proportional and scale drawing. This has allowed the extraction of relevant information about the configuration and shape of the temple. For example, it can be seen that the layout of the towers is not perpendicular to the layout of the main nave; they differ by two degrees from the longitudinal axis of the main nave. Given the scale of the temple, this is not visible to the naked eye and is difficult to detect through manual surveying. In addition, the technique has made it easier to capture the geometry of tall, elevated, or hard-to-reach elements without the need for sophisticated equipment, tools, or additional lifting gear.

Regarding the architectural representation in specialized CAD software (Autodesk 2022), the ease of discretizing repetitive materials is noteworthy, such as the arrangement

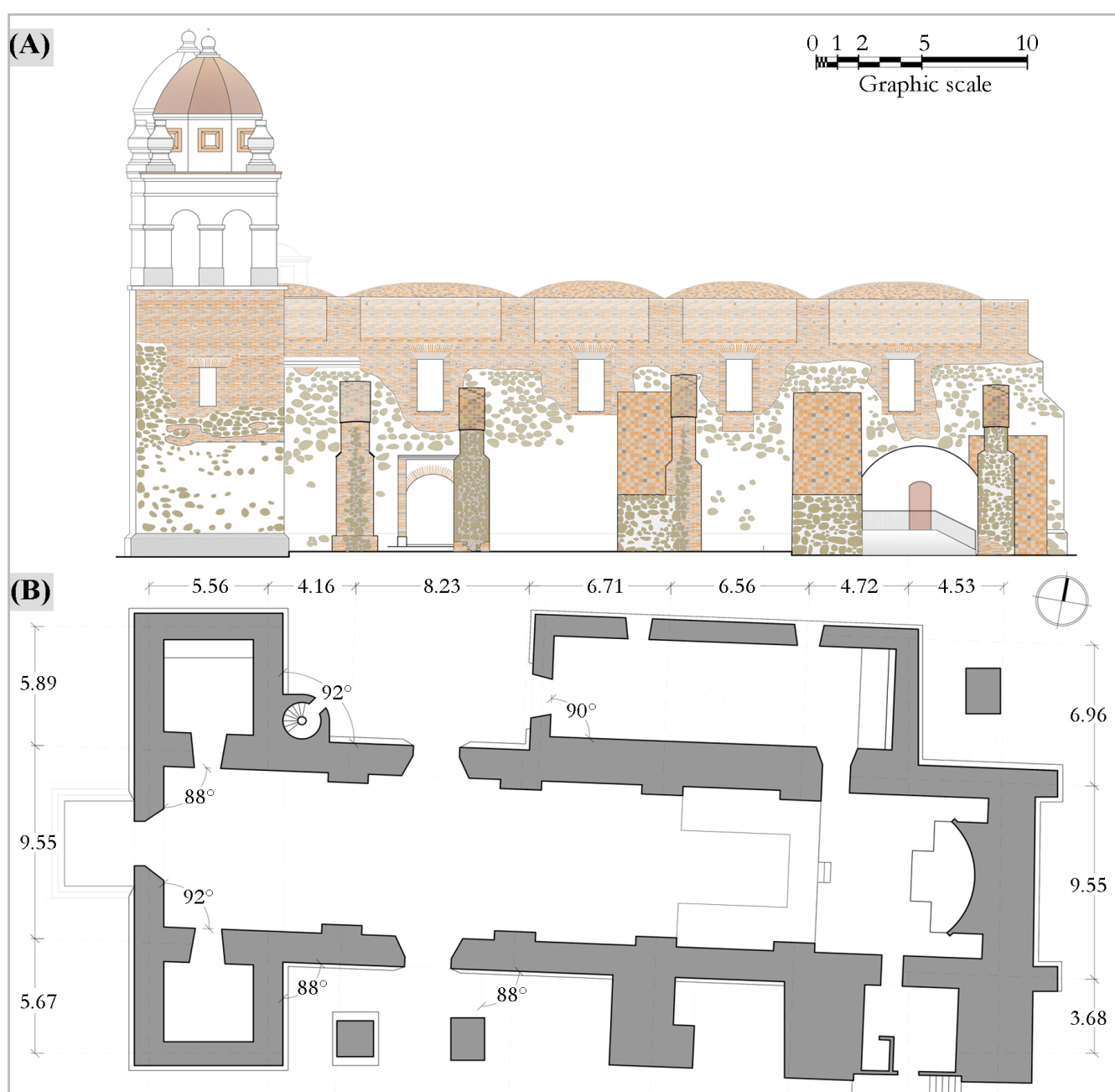


Figure 8.- Architectural representation: (A) elevation view and (B) ground floor.

of bricks in continuous walls and the distribution of square tiles on the buttress roofs, using functions available for replicating drawings as textures in regions (Superhatch) or by representing repetitive linear drawings (Array) to define the edges of bricks at corners, as in the tower, windows, and buttresses.

Mapping of the materials and deterioration present

The demarcation of the materials shows that the walls are constructed mainly with stone masonry up to the level of the windows, where a material change is generally seen in the diagonals, giving way to the continuity of the

walls with fired red brick masonry that extends from the windows to the roofs. Brick is also found enclosing some buttresses. In addition, square brick tiles are present on the roofs, both on the roofs and on the buttresses. Finally, remnants of plaster or render are observed in the middle of the nave and at the base of the tower, while new plaster is seen in the sacristy and the bell tower [Figure 9:A].

Regarding the mapping of deterioration on the temple, the surfaces with biological colonizations, discolorations and deposits are the most obvious. These colonizations may be responsible for the superficial erosion caused by their roots or the appearance of discolorations and deposits due to the decomposition of organisms (Casas 2018:

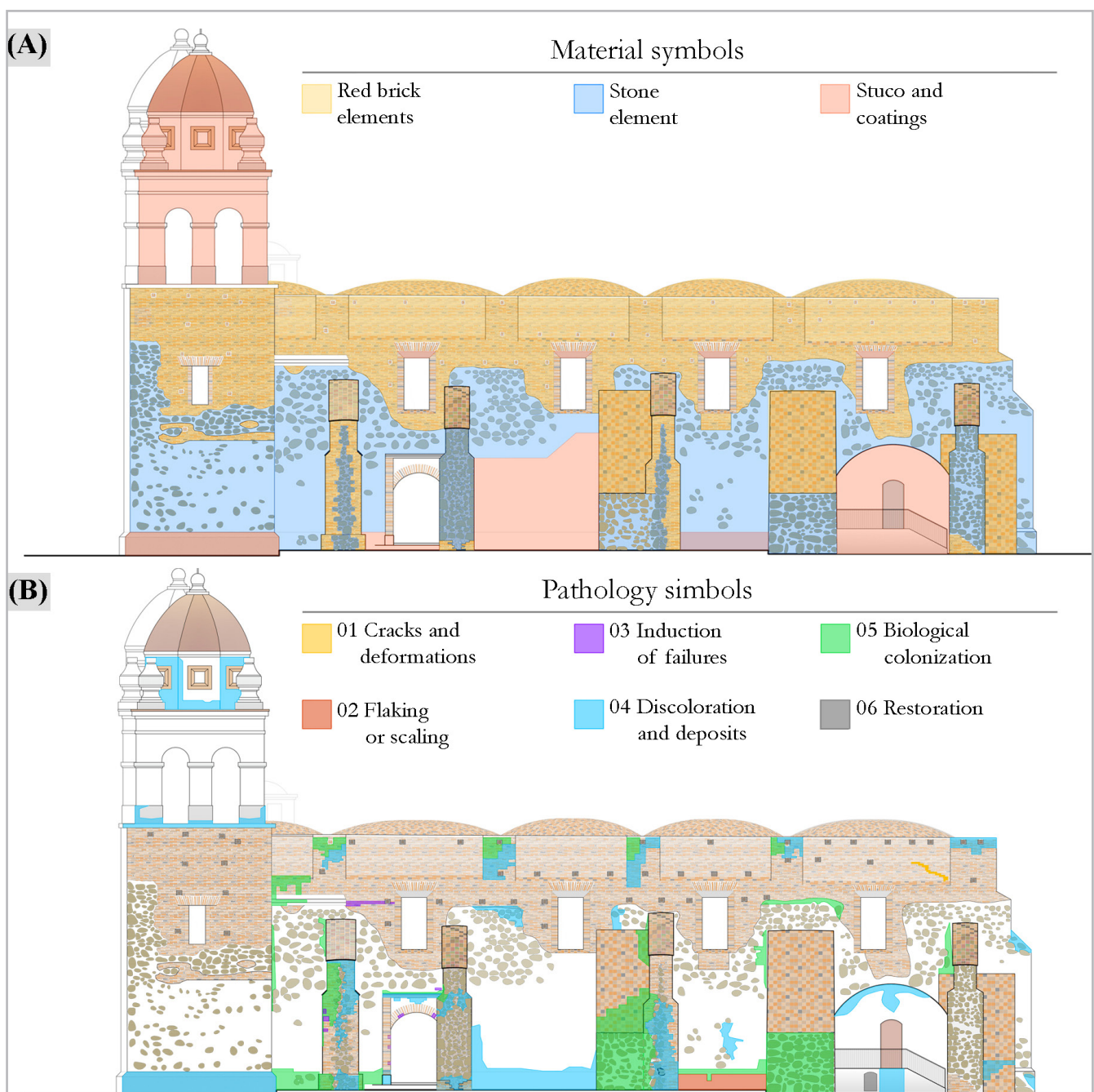


Figure 9.- Mappings on the architectural elevation: (A) Materials and (B) Deterioration

58). Although the constant sunlight on the south facade should be unfavorable for these biological colonisations, the invasive species have managed to settle in the porous materials of the temple, mainly in areas that experience periods of sun and shade. These conditions are found between the tower and one of the buttresses, and on the tile-covered buttresses that are in the shade of the trees. Finally, there are small areas of material loss, mainly bricks, and a crack in the upper right corner [Figure 9:B].

Conclusions

The Temple of Our Lady of Candelaria is a historic building with an age of at least 400 years since its construction. Therefore, it is expected to find accumulated deterioration due to simple weathering, which affects all buildings. In addition, the temple is located in a tropical environment where there are significant contrasts between rainy and dry seasons, which favors the development of lesions due to changes and migration of moisture (saturation and drying).

Regarding the analysis of the temple's materials, it has allowed the identification of significant differences in terms of porosity and absorption, suggesting a greater durability of the stone compared to bricks and mortar. This finding leads to the consideration that some mortar joints may have been lost or eroded over time, which would explain the presence of "rajuela" [Figure 9:B] a repair or construction system that involves embedding small fragments of brick, tile and/or stone in the construction joints. It is believed that this method was used to fill the gaps created by the loss of mortar, and in some cases, the lack of mortar allowed entire pieces to detach. It is therefore considered likely that these missing materials were replaced with bricks or rajuela. This may explain the bricks present in the lower areas of the buttresses and the horizontal band of bricks in the tower.

Regarding the architectural representation of the TOLC, the photogrammetry technique is considered suitable for developing this type of representation. The supporting image obtained from the point cloud retains enough information to produce a drawing of considerable quality, preserving details of shapes, dimensions and colors that were favorable during the interpretation and development of the architectural drawing. It is worth mentioning that due to the dimensions of the building, there may be differences and discretization of information regarding its smaller elements, such as canopies, projections, gargoyles, recesses, and others. However, the technique has some advantages, such as the fact that, being a virtual model, dimensions can be obtained from it without the need for an exhaustive survey of the building.

The current state of the southern facade and the documentation of existing deterioration, it can be generally seen that there is a concentration of alterations

at the base, possibly due to capillary humidity or rainwater filtration (Serna *et al.* 2016: 28; Casas 2018: 45); There are also elevated areas where the geometry is complex (bell tower), horizontal (marquees) or close to the gargoyles, where it is estimated that environmental and meteorological conditions provide humidity (Speri *et al.* 2017: 157), in n general, this moisture should be easily lost on the south facade that has the greatest solar incidence, but due to the geometry of the building that generates shadows on itself, this humidity can remain longer in those elements with low solar radiation, favoring the development of biological colonization [Figure 7:C]. Knowledge of the physical properties of the materials helps to reinforce these conclusions, since in these porous materials with high absorption, such as bricks and mortar, there is a proliferation of plants, mosses and possibly microorganisms (ICOMOS 2008: 64; Berenguel Paredes 2014: 96); Furthermore, these same materials are eroded, perhaps by roots, efflorescence, and particle transport, causing undermining that would facilitate the detachment of other materials, such as stones or bricks. On the other hand, the stones, which are denser and less porous, are affected only by patina stains and superficial oxidation of their minerals.

In summary, this historic building, which has existed since the early expansion of the Spanish Empire in what is now known as Villa Purificación, Jalisco, Mexico, presents multiple alterations due to the effects of weathering and lack of maintenance. The description of the current state through the development of a photogrammetric survey has yielded good results, with this technique being a functional complement for architectural drawing and representation. It is suggested that the damage identified on the south facade is largely due to multiple manifestations of humidity, resulting from the combination of porous materials with good absorption, together with a high presence of meteorological humidity and areas of low solar exposure.

References

- AGISOFT (2020). *Agisoft Metashape*, (2020) [Software]. [computer program]. <https://www.agisoft.com/>
- ANDALUZ M., N., MARÍN C., C., GISBERT A., J., & REMÓN C., A. (1994). Diagnóstico del deterioro de edificios del Patrimonio Histórico-Artístico del sureste de la provincia de Huesca. *Lucas Mallada: revista de ciencias*, 6: 143–170.
- ARRIAGA, DE LA C. J., RAMÍREZ, F. A., & LÓPEZ, D. R. (2017). *Estudio geológico del deterioro de la iglesia El Señor de la Misericordia, Linares, N. L.* [Ingeniería, Universidad Autónoma De Nuevo León]. <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/lic/1080312738>
- AUTODESK. (2021). *Autodesk Meshmixer*, (2021) [Software]. [computer program]. <https://meshmixer.com/>

- AUTODESK. (2022). *AutoCAD 2022* (Versión 2022). [Windows]. <https://www.autodesk.mx/products/autocad/free-trial>
- BALANDRANO, C. A. (2024). *Mediateca.inah*. VIII La arquitectura y el patrimonio edificado. https://mediateca.inah.gob.mx/webapps/publicaciones-digitales/80ANIV_INAH/caps/8/cap_viii.html
- BERENGUEL P., A. E. (2014). Patología de la edificación patrimonial en el Centro Histórico de Lima. Humedades, causas y consecuencias. *Universidad Nacional de Ingeniería*, 93–108. <https://doi.org/10.21754/devenir.v1i1.239>
- CASAS, F. L. (2018). Humedades. En *Programa Editorial Universidad del Valle*. Programa Editorial Universidad del Valle. <https://doi.org/10.25100/peu.86>
- D.H. (2023). *DH_mobile* [Android]. <https://app.droneharmony.com>
- DJI. (2023). *DJI fly* (Versión 2023) [Android]. DJY. <https://www.dji.com/mx/dji-fly>
- FIGUEROA C., M., & PACHECO M., J. (2016). *Evaluación y calibración de las técnicas de fotogrametría digital aplicadas a la caracterización geométrica de obras patrimoniales* [Maestría, UAA]. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/658>
- ICOMOS (with Comité scientifique international Pierre). (2008). *ICOMOS-ISCS: Illustrated glossary on stone deterioration patterns* (English-French version). ICOMOS.
- IIEG, I. de I. E. y G. de J. (2023). *Municipios: Villa Purificación*, Carta Municipal, 2019, IIEG. https://iieg.gob.mx/ns/?page_id=135
- INAH. (2022, septiembre). Ficha del Catálogo Nacional de Monumentos Históricos Inmuebles número I-0011500836. Consulta Pública del Catálogo Nacional de Monumentos Históricos Inmuebles. https://catalogonacionalmhi.inah.gob.mx/consulta_publica/detalle/27564
- JANVIER, R., BRUNETAUD, X., BECK, K., & MUKHTAR, M. (2016). The potential of laser scanning to describe stone degradation. *Science and Art: A Future for Stone*, 353–360. https://www.researchgate.net/profile/Nevin-Aly/publication/308167709_The_Effect_of_Salt_Crystallisation_on_the_Mechanical_Properties_of_Limestone_Statistical_Correlation_between_Non-Destructive_and_Destructive_Techniques/links/57deee2008ae4e6f184c31de/The-Effect-of-Salt-Crystallisation-on-the-Mechanical-Properties-of-Limestone-Statistical-Correlation-between-Non-Destructive-and-Destructive-Techniques.pdf
- KORRO, J., ZORNOZA I., A., & VALLE M., J. M. (2023). Documentación de las intervenciones de conservación-restauración del patrimonio arquitectónico: Perspectiva histórica, situación actual y tendencias de futuro. *Ge-conservación*, 24(1):21-33 <https://doi.org/10.37558/gec.v24i1.1195>
- LEVOY, M., PULLI, K., CURLESS, B., RUSINKIEWICZ, S., & KOLLER, D. (2000). The Digital Michelangelo Project: 3D Scanning of Large Statues. <https://graphics.stanford.edu/papers/dmich-sig00/dmich-sig00-nogamma-comp-low.pdf>
- LI, Y., ZHAO, L., CHEN, Y., ZHANG, N., FAN, H., & ZHANG, Z. (2023). 3D LiDAR and multi-technology collaboration for preservation of built heritage in China: A review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 116(16). <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103156>
- LOCHER, A., HAVLENA, M., & VAN GOOL, L. (2018). Progressive Structure from Motion. En V. Ferrari, M. Hebert, C. Sminchisescu, & Y. Weiss (Eds.), *Computer Vision – ECCV 2018*, 11208: 22–38. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01225-0_2
- LÓPEZ, D. R., WEDEKIND, W., AGUILLÓN R., A., DOHRMANN, R., MOLINA, S., LEISER, T., WITTENBORN, A., & SIEGESMUND, S. (2018). Thermal expansion on volcanic tuff rocks used as building stones: Examples from Mexico. *Environmental Earth Sciences*, 77(9): 338. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7533-0>
- MEDINA C., F., JEREMÍAS, P., & GUTIÉRREZ, J. (2014). *La fotogrametría digital como herramienta de trabajo para la toma de datos y catalogación de las iglesias románicas en la comarca de Las Merindades* (Burgos). <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/43582>
- NIETO, M., RIVERO, P., & LOBO, W. (2009). Análisis dinámico lineal de una edificación histórica en San Cristóbal, Estado Táchira. *Ciencia e Ingeniería*, 30(3): 237–246.
- PEPE, M., ALFIO, V. S., & COSTANTINO, D. (2023). Assessment of 3D Model for Photogrammetric Purposes Using AI Tools Based on NeRF Algorithm. *Heritage*, 6(8): 5719-5731. <https://doi.org/10.3390/heritage6080301>
- PÉREZ S., M., CRUZ F., P., & RUEDA M. P., A. (2023). Proceso de digitalización de edificios históricos y parametrización de instalaciones. En *Oportunidades que ofrece la tecnología digital para los problemas de documentación, seguimiento, uso y visualización del patrimonio arquitectónico y ambiental* (ReUSO: 25–35). Dykinson S.L. https://www.researchgate.net/publication/375071826_Proceso_de_digitalizacion_de_edificios_historicos_y_parametrizacion_de_instalaciones
- RAHEEM, Z. (2019). *Suggested Methods for Determining Water Content Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties PART 1: SUGGESTED METHODS FOR DETERMINING WATER CONTENT, POROSITY, DENSITY, ABSORPTION AND RELATED PROPERTIES NOTES (i) Mechanical significance of porosity and density data.*
- REGALADO, P. A. (2008). *La Fundación de la Villa de la Purificación* (2a ed.). Publicaciones Iberoamericana y Europa.
- SÁNCHEZ L., A. V., & SOTO Z., M. A. (2021). *Propuesta de una metodología para desarrollar y evaluar técnicas de fotogrametría como herramientas para la realización del mapeo de patologías en elementos patrimoniales* [Maestría, Universidad Autónoma de Aguascalientes]. <http://hdl.handle.net/11317/2186>
- SERNA, M. S., ARAIZA, G. G., & SOTO, Z. M. (2016). *Evaluación de sistemas correctivos para la inhibición capilar en desplante de muros de adobe en edificios patrimoniales* [Maestría, UAA]. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/657>

SGM. (2023). *GeolInfoMex—El Banco de Datos del SGM*. <https://www.sgm.gob.mx/GeolInfoMexGobMx/#>

SPERI, L., FALCHI, L., BALLIANA, E., ZUENA, M., & ZENDRI, E. (2017). Behaviour of brick-NHL render systems in presence of NaCl solution. *Ge-conservación*, 11: 157–164. <https://doi.org/10.37558/gec.v11i0.468>

SUNEARTHTOOLS. (2023). Outils pour les consommateurs et les concepteurs de l'énergie solaire. https://www.suneearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php

TALLER, A. (2014). Derecho a la preservación del patrimonio arquitectónico urbano: Un desafío para las autoridades locales. *Revista Eurolatinoamericana de Derecho Administrativo*, 1(2): 7–37.

TAMAYO N., F., QUESADA R., A. L., & AYÓN A., V. (2010). *Aplicación de la fotogrametría arquitectural digital, en la restauración de edificaciones coloniales del centro histórico de la ciudad de Holguín, Cuba. Un paso superior en la conservación del patrimonio arquitectónico y cultural*. 1: 451–458.

TORALES, A. G. J., & LAZOS, C. E. (2016). *La relación ambiente-cultura en una sociedad ranchera ante el proceso de ganaderización* [ESCUELA NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA]. https://mediateca.inah.gob.mx/islandora_74/islandora/object/tesis%3A3044

TRIMBLE. (2023). *SketchUp*, [Software]. [computer program]. <https://www.sketchup.com/>

UDELAP. (2023). *Capítulo III: Estudio de mecánica de suelos*. Universidad de las Américas de Puebla. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/sanchez_m_r/capitulo3.pdf

VILLEGAS, D., CÁMARA, M., & COMPÁN, V. J. (2014). Análisis estructural de la torre del homenaje de la Alhambra de Granada (España). *Informes de la construcción*, 66 (Extra 1). <https://doi.org/10.3989/ic.13.101>

VIZCAÍNO, H. I. E., & SOTO, Z. M. A. (2018). *Propuesta y evaluación de una metodología para la determinación del peso propio en elementos constructivos y ornamentales de edificios patrimoniales empleando fotogrametría digital de corto rango* [Maestría, Universidad Autónoma de Aguascalientes]. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11317/1581/432897.pdf?sequence=1>

Author/s



Isaías Edén Vizcaíno-Hernández
edenv15@gmail.com
 Universidad Autónoma de Aguascalientes.
 México
<https://orcid.org/0000-0003-1477-4384>

Arquitecto por el Instituto Tecnológico de Jalisco en 2015 y Maestro en Ingeniería Civil por la Universidad Autónoma de Aguascalientes en 2018, ha participado en diversas estancias de investigación por la Academia Mexicana de Ciencias, así como en varios congresos dirigidos por la Universidad Autónoma de

Aguascalientes y ha publicado algunos artículos en revistas internacionales. Donde su principal línea de investigación esta centrada en el patrimonio histórico, la caracterización de materiales pétreos y la implementación de técnicas indirectas para la representación.



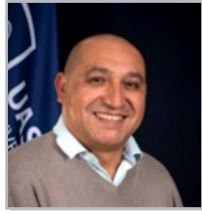
Miguel Angel Soto-Zamora
miguel.soto@edu.uaa.mx
 Universidad Autónoma de Aguascalientes.
 México
<https://orcid.org/0000-0003-1399-8001>

Ingeniero Civil, Maestro en Ingeniería Civil y Doctor en Ciencias 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, 34 tesis y tesinas de Licenciatura Maestría y Doctorado dirigidas.



Alejandro Acosta-Collazo
aacosta@correo.uaa.mx
 Universidad Autónoma de Aguascalientes.
 México
<https://orcid.org/0000-0002-8655-2038>

Doctorado en Arquitectura por la Universidad Nacional Autónoma de México en 2005; Maestría en Planeamiento Urbano Regional por la Universidad de Guanajuato en 2004; Maestría en Restauración de Sitios y Monumentos por la Universidad de Guanajuato en 1997 y Licenciatura en Arquitectura por la Universidad Autónoma de Aguascalientes en 1993. Tiene una dilatada experiencia como Docente y Profesor Investigador Interino en la Universidad Autónoma de Aguascalientes desde 1999 a 2009. Tiene publicados varios artículos de revista, así como, capítulos de libros. Ha dirigido tesis y participa en proyectos de investigación en torno a temas relacionados con "Estudios sobre la experiencia del entorno", "Urbanidad y patrimonio histórico" y "Urbanidad, movilidad y patrimonio industrial histórico"



Rubén Alfonso López-Doncel
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 y es Miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel 2 (SNII2).

Artículo enviado 04/06/2024
Artículo aceptado el 29/03/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v26i1.1316>

www.revista@ge-iic.com



Edición digital del GEIC