

Sostenibilidad y patrimonio histórico. De la innovación tecnológica a la tradición en conservación y restauración

Màrius Vendrell-Saz | Patrimoni 2,0 consultors, s.l.

David Juanes Barber | Institut Valencià de Conservació, Restauració i Investigació

Auxiliadora Gómez-Morón | Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico

URL de la contribución <www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/5400>

RESUMEN

En este artículo se hace una síntesis del concepto general de sostenibilidad y su aplicación al patrimonio cultural con criterios que no pueden limitarse al uso de materiales ecológicos, verdes, con menos residuos y huella de carbono reducida, sino que hay que situar el bien cultural como centro de interés y considerar que cada intervención implica cierto nivel de agresión. Por tanto, se plantea la minimización y el espaciado temporal de las restauraciones y que éstas sean producto de un proceso previo de estudio, análisis, diagnóstico y, finalmente, solo si es preciso, intervención. Todo esto valorando no solo la forma y la estética del objeto, sino también su materialidad y la conservación de las técnicas de ejecución históricas. Es en este punto en el que adquiere importancia el análisis mediante técnicas no invasivas que minimicen el número de muestras a extraer sin menoscabo de alcanzar la información necesaria.

En el marco de esta aproximación sostenible al patrimonio debería entenderse como una oportunidad única de tener el objeto sobre la mesa o estar a 40 cm de una estructura arquitectónica, que brindan una excelente ocasión de profundizar en su conocimiento que a su vez propiciará una intervención razonable y razonada. Y en el curso de la actuación y posteriormente a ésta, el estudio del objeto permitirá el diseño de un programa de control y mantenimiento que ralentice su degradación y distancie en el tiempo la siguiente intervención. Complementariamente, no cabe duda de que la difusión a diversos niveles y la puesta en valor del objeto han de contribuir a su mejor apreciación y valoración, a todos los niveles, incluso desde las propias administraciones.

Palabras clave

Conservación (Patrimonio) | Conservación preventiva | Conservación verde | Química sostenible | Química verde | Restauración de patrimonio | Sostenibilidad | Técnica de análisis no destructiva | Técnica de conservación preventiva | Técnica no destructiva | Técnica no invasiva |



Análisis mediante fluorescencia de rayos X portátil de las iluminaciones del ejemplar de la Biblia de Gutenberg de la Universidad de Sevilla | foto Fondo gráfico IAPH (José Manuel Santos Madrid)

Sustainability and Cultural Heritage. From Technological Innovation to Tradition in Conservation and Restoration

ABSTRACT

This article provides an overview of the sustainability applied to historical heritage, emphasizing that it should not be limited to the use of ecological materials, waste-free practices and low carbon footprint. Instead, cultural heritage should be the center of interest while acknowledging that any intervention causes some harm. Thus restoration efforts should be minimized and spaced out, based on prior studies, analysis, and diagnosis, and only intervene if absolutely necessary. The article highlights that key aspects of heritage are not just its shape and aesthetics, but also its materiality and the knowledge of production or construction techniques. In this way, non-invasive techniques minimize the sampling giving essential information. Within a sustainable approach, it is essential to perceive the opportunity to study objects closely providing a unique chance to deepen their knowledge, leading to a reasonable and well-thought-out intervention. Studying the object during and after restoration enables the development of control and maintenance programs to slow down degradation and prolong the time between subsequent interventions. It is also crucial to promote the diffusion of the object at various levels to contribute to its greater value and recognition.

Key words

Conservation (Heritage) | Preventive Conservation | Green Conservation | Green chemistry | Heritage Restoration | Sustainability | Non Invasive Analytical Techniques | Preventive Conservation Technique | Non Destructive Technique | Non Invasive Technique |

Cómo citar: Vendrell-Saz, M., Juanes Barber, D. y Gómez-Morón, A. (2023) Sostenibilidad y patrimonio histórico. De la innovación tecnológica a la tradición en conservación y restauración. *revista PH*, n.º 110, pp. 34-49. Disponible en: www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/5400 DOI 10.33349/2023.110.5400

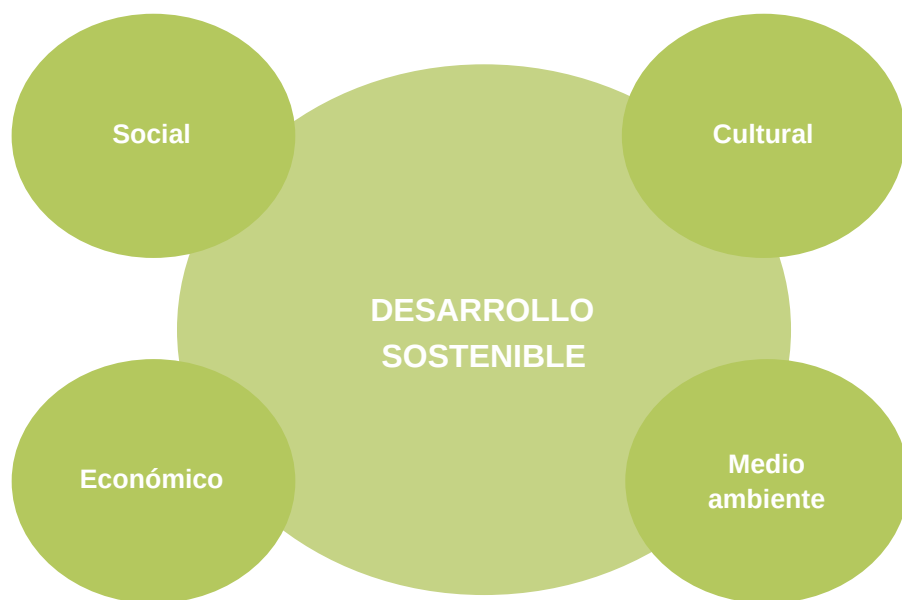
Enviado: 18/06/2023 | **Aceptado:** 30/06/2023 | **Publicado:** 10/10/2023

UNA VISIÓN GENERAL

La Real Academia Española define el vocablo sostenibilidad como la cualidad de sostenible que, a su vez, especialmente en ecología y economía, se describe como “que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente”. Más allá de esta escueta definición, parece que hay cierto consenso en explicar la sostenibilidad como el conjunto de acciones que deberían ponerse en marcha para tratar de satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer las de las generaciones futuras, al mismo tiempo que se garantiza un equilibrio entre el crecimiento de la economía, el respeto al medioambiente y el bienestar social (ONU 2023). La coletilla de esta frase da por sentado que tras el objetivo principal (satisfacer necesidades a futuro) existe la voluntad de mantener el crecimiento económico, cosa que, al menos desde el punto de vista estrictamente matemático, es imposible puesto que el crecimiento continuado tiende al infinito, que no es técnicamente alcanzable.

El traslado de esta relativamente amplia definición al ámbito del patrimonio cultural requiere algunos matices específicos, así como diversas consideraciones sobre la propia definición. De entrada, el propio objetivo debería ser redefinido como la voluntad de conservación del patrimonio considerando los aspectos social, económico, cultural y ambiental, no necesariamente por este orden (An et ál. 2022). Y puestos a matizar, debería desarrollarse mínimamente el concepto de “la conservación del patrimonio”, puesto que en ocasiones se han entendido (casi) como la mera conservación de la forma y la estética, es decir, la imagen (recordemos los edificios históricos de los que se mantiene únicamente la fachada para preservar “el paisaje urbano” a costa de la total destrucción del interior). Y, aun así, en numerosas ocasiones, la imagen a conservar dista mucho de la original y se tiende a la “socialmente consolidada”, es decir, la que ha visto la actual generación (Di Turo y Medeghini 2021). Y, siempre en el entorno del patrimonio, la “conservación” no debería restringirse a la forma y volumen, sino que debería ampliarse a la preservación de los materiales originales, de las técnicas de ejecución que dieron lugar a la materialidad del bien cultural, de los acabados que propusieron los autores (o al menos, su evolución temporal). Solo conservando la integridad del bien considerando estos aspectos será posible la transmisión del patrimonio a las generaciones futuras, para que estas puedan disfrutarlo y estudiarlo, al menos en las mismas condiciones en las que ha llegado a nuestros días, evitando que nuestra intervención altere para siempre la lectura de los materiales, de las técnicas de ejecución y del aspecto que tuvieron a lo largo de la historia.

Por tanto, el concepto de sostenibilidad debería trascender la simple interpretación que contempla el uso de materiales de baja toxicidad, con la mínima huella de carbono posible, etc. (Potts 2021). El concepto debería



Esquema de interrelación de las bases en el desarrollo sostenible que muestra la conexión y la influencia mutua entre los aspectos social, cultural, medioambiental y económico | esquema Auxiliadora Gómez Morón

(debe) tener en el centro, como objetivo principal y casi único, la conservación del patrimonio, considerando lo expresado anteriormente, es decir, la forma, el cromatismo, los materiales y las técnicas de ejecución (Liritzis y Korka 2019). Esto dibuja un camino que lleva muy directamente a la mínima intervención, a que las necesidades a cubrir sean exclusivamente las que requiera el bien cultural, condicionando el plan de usos a los posibles y no necesariamente a los exigidos por el usuario final.

En este ámbito y aceptando las premisas anteriormente expresadas, la mínima intervención debería ser el resultado de un conocimiento profundo, *a priori*, del bien cultural a intervenir, no simultáneamente o *a posteriori*. Y solo el conocimiento en profundidad de la historia, de la materialidad, de las técnicas de ejecución o construcción, del comportamiento estructural, etc., permite programar la mínima intervención. La experiencia pone de manifiesto que esta premisa colisiona con las exigencias temporales, sobre todo de los plazos en los que se manejan las administraciones públicas. Si el bien cultural se sitúa en el centro de cualquier decisión, este no puede someterse a las necesidades administrativas o a los requerimientos de uso, sino al contrario. Es decir, cualquier intervención realmente sostenible debería considerar una etapa de conocimiento, seguida de una de reflexión y análisis conceptual y, solo a partir de estas, redactar el correspondiente proyecto de intervención y ejecutarlo en plazos razonables.

Asumiendo esta amplia definición de sostenibilidad aplicada en patrimonio cultural, resulta inabordable en este monográfico desarrollar todos los aspectos relacionados con esta, como la gestión integral sostenible compatibili-

zando turismo cultural y natural, conceptos como el patrimonio vivo para la salvaguardia del patrimonio cultural inmaterial, la promoción del progreso económico y social a través de políticas culturales sostenibles o la educación y sensibilización sobre el valor de nuestro patrimonio histórico (Haalpap 2022). Estos aspectos forman parte de cualquier valoración, discusión, programa y consideraciones sobre sostenibilidad y patrimonio. De ahí que se haya considerado más interesante centrar la publicación en líneas menos tratadas, y abordado intervenciones y materiales de conservación y restauración en las que se aplican metodologías y tratamientos respetuosos con el bien cultural a la vez que con el medio ambiente, de elevada durabilidad, que evite repeticiones de las intervenciones, empleando materiales y técnicas tradicionales compatibles con el bien e inoocuos para el ecosistema, sin dejar atrás el uso de metodologías y técnicas innovadoras para la investigación en el conocimiento material, tecnológico y estado de conservación mediante técnicas no invasivas de caracterización (Vila y Murray 2022). En este contexto, el modo óptimo para obtener los mejores resultados es un enfoque multidisciplinar que comparta y ponga en obra los conocimientos de la ciencia verde sostenible y las necesidades de conservación de patrimonio cultural.

ANÁLISIS NO DESTRUCTIVOS Y NO INVASIVOS

La importancia de este tipo de análisis en el conocimiento del bien cultural parece especialmente interesante porque conlleva el acceso a información técnica, físico-química o estructural, sin alterar la superficie del objeto o edificio, por tanto, sin extracción de muestras o minimizando ésta (Madariaga 2021). En los últimos años se ha promovido la química verde, que también puede ser aplicada al patrimonio cultural, fomentando el uso de materiales no tóxicos y respetuosos con el medio ambiente y metodologías de las denominadas verdes, con menos residuos, la nanotecnología (Becerra et ál. 2019) y las tecnologías no invasivas (Gałuszka, Migaszwski y Namieśnik 2013). Esta química sostenible es innovadora y tiene por objetivo reducir e incluso eliminar por completo las sustancias químicas peligrosas o utilizar materias primas renovables (Baglioni y Chelazzi 2021). También contribuye a la sostenibilidad de las intervenciones el empleo de técnicas libres de productos químicos, por ejemplo, la limpieza con láser o técnicas mínimamente invasivas de análisis como espectroscopías de ablación láser (LIBS), capaces de analizar los materiales en superficies de unas 10 micras, a veces combinando limpieza láser con análisis en el mismo punto simultáneamente lo que permite la monitorización en continuo para verificar el grado o profundidad de limpieza (Gómez-Morón et ál. 2016). Basándose en uno de los principios de la química analítica verde (Baia et ál. 2019), se considera un logro conseguir minimizar la cantidad de muestra necesaria para realizar el análisis, puesto que es uno de los factores que lleva a reducir los residuos. Siguiendo estos criterios, en conservación verde se emplean cada vez más



Esquema resumen de las ventajas de las técnicas microinvasivas, no destructivas y no invasivas en la caracterización y diagnóstico del patrimonio cultural y su contribución a la sostenibilidad | esquema Auxiliadora Gómez Morón

técnicas de análisis con pretratamiento basados en sistemas de ablación láser que reducen el muestreo a cantidades ínfimas, asociadas a espectroscopías que minimizan los reactivos y disolventes empleados.

Dando un paso más, el mayor avance en este campo ha sido el uso de técnicas no invasivas para la caracterización de materiales sin necesidad de toma de muestras y realizando las mediciones directamente en la obra sin el uso de reactivos o disolventes y que, por tanto, no generan desechos tóxicos, revelándose en el método más sostenible en patrimonio para el análisis y diagnóstico de los materiales (Płotka-Wasyłka y Namieśnik 2019). También la biotecnología ha permitido alcanzar importantes hitos en la eliminación de productos tóxicos, demostrando su eficiencia y aplicabilidad en el campo del patrimonio (Arreche y Vázquez 2020). Este es un aspecto relevante porque su implementación representa abordar un conocimiento global de la obra, como conjunto, a partir del cual programar una amplia adquisición de datos en numerosos puntos, cuya interpretación y análisis ha de permitir disponer de datos sobre la materialidad del objeto, su estado de conservación, los productos de alteración (si los hubiere), etc. Y solo tras valorar la información alcanzada sin contacto o con el mínimo contacto, se puede decidir y programar la toma de muestras (Ager et ál. 2017). Resulta evidente que el número de estas se verá drásticamente reducido respecto las que se tomarían sin el conocimiento previo que aportan los análisis no destructivos y no invasivos (Gómez Morón 2021). No hay que perder de vista que las técnicas no destructivas, muy probablemente, no aporten toda la información analítica necesaria, por tanto, en la mayoría de casos resulta casi inevitable la extrac-

ción de muestras. Pero si estas se reducen, se confirma que se minimiza el daño producido al bien cultural. Y también en base a lo expuesto precedentemente, se hace evidente que la importancia de las técnicas no invasivas es inversamente proporcional al tamaño del objeto. La extracción de una muestra, por pequeña que sea, en una obra pictórica de 30x30 cm es una agresión significativa, mientras que la recolección de una muestra de revestimiento de una fachada de 400 m² implica un daño muy poco importante (Juanes Barber 2008). Por tanto, el uso de técnicas no invasivas se hace casi indispensable en obras de pequeño tamaño, mientras que, en general, parece menos importante en un yacimiento arqueológico de gran superficie. Ello no excluye, obviamente, el empleo de técnicas de amplio alcance que permiten la exploración de grandes áreas (en esta publicación se presenta algún ejemplo de este tipo de exploraciones).

Análisis no invasivos mediante espectroscopía de reflectancia difusa de la pintura sobre tabla Virgen con el Niño, San Sebastián y San Roque, atribuida al pintor Bernardino Luini | foto Fondo gráfico IAPH (Eugenio Fernández Ruiz)

Por otro lado, la conservación verde representa un reto, una nueva frontera para proteger, restaurar y preservar el patrimonio cultural, que requiere aún de mucha investigación para encontrar fórmulas comerciales compatibles





Principales objetivos de la química verde en conservación y restauración de patrimonio cultural tangible | esquema Auxiliadora Gómez Morón

con los materiales originales y realizar ensayos que garanticen una segura aplicación de estos nuevos productos verdes y protocolos aplicados a diferentes materiales (piedra, morteros, metales, papel, tela, madera, etc.) al ámbito específico de la restauración (Furferi et ál. 2023).

CONOCIMIENTO, REFLEXIÓN, INTERVENCIÓN

El conocimiento del bien patrimonial trasciende y va más allá del objetivo de su conservación y eventual restauración puesto que el estudio previo de un objeto que se va a restaurar es una oportunidad única, que solo se repite tras largos periodos de tiempo, de disponer del objeto a corta distancia (sea un bien mueble o inmueble), de estudiar aspectos que normalmente no serían accesibles para el historiador, para el técnico en ciencia de materiales, para el conservador... Por lo tanto, la lógica sugiere aprovechar la oportunidad para profundizar en la historia, la materialidad, la conservación y cualquier otro aspecto que pueda considerarse. Pero en cualquier caso y, sobre todo, es necesario el estudio del objeto considerando su conservación: cuál es su estado actual, cómo fue originalmente y cómo se ha modificado a lo largo de la historia, qué factores ambientales, de uso, accidentales afectan a su estabilidad y cómo estos alteran sus valores. Por tanto, el estudio tiene un objetivo principal, la conservación, y otro lateral (aunque no menos importante), que es un nivel de conocimiento que podríamos considerar como

más académico. En cuanto al estudio de su materialidad, este debe aportar datos sobre su caracterización, estado de conservación, etc., pero además informaciones técnicas que favorezcan el análisis histórico del objeto, que en realidad es el objetivo final de la serie de estudios que se lleven a cabo (Domingo Sanz, Vendrell y Chieli 2021).

Obviamente, en términos de sostenibilidad, los estudios que se lleven a cabo, especialmente su análisis material, suelen requerir la extracción de muestras, lo que no deja de ser una agresión (pequeña, ínfima, pero agresión) al objeto. De ahí la importancia de la utilización de técnicas no invasivas y no destructivas que se ha discutido en el apartado anterior. Esta metodología, en definitiva, no suele evitar la recolección de muestras, pero colabora muy decisivamente a minimizar el número y el tamaño de las mismas. Hay que reconocer los avances de las técnicas aplicadas al patrimonio en este campo; aún siendo casi siempre subproductos o evoluciones de otros ámbitos científico-técnicos, la tecnología desarrollada en los últimos decenios y la que está en curso evolutivo permite alcanzar un respetable nivel de conocimiento sin extraer un solo miligramo de material. Esta es una de las razones que han motivado este número monográfico de la revista.

Y si finalmente el nivel deseado o necesario de conocimiento requiere la toma de muestras, debería valorarse el incremento de información que el análisis de la muestra puede aportar con relación al daño que su extracción significa. Es evidente que si, por ejemplo, se desea datar mediante radiocarbono una escultura policromada de madera, no hay más remedio que extraer un pequeño fragmento; la técnica analítica ha minimizado el tamaño de la misma, pero aun así, no puede evitarse la reflexión anterior: ¿tan importante es el dato como para extraer un trozo de madera? La respuesta suele ser positiva, pero lo que no resultaría sostenible en términos de conservación de la estatua es que cada generación extraiga una muestra para refinar la precisión del dato cronológico. Este hecho, que en sí mismo parece absurdo (pero ha ocurrido), tiene su equivalencia en la restauración arquitectónica; es frecuente ver un andamio en una fachada en la que hubo otro no más allá de 5 o 10 años atrás. Alguna cosa no estamos haciendo bien cuando una intervención de esta magnitud debe ser re-restaurantada al cabo de menos de diez años. Es objetivamente un daño innecesario al edificio y un coste económico que deja de ser invertido en otro bien patrimonial.

En este sentido y en este ámbito, un aspecto nada despreciable de la sostenibilidad es la intervención razonada y razonable, basada en estudios artísticos, históricos, materiales, ambientales... que permitan definir los procesos de intervención (o incluso asumir que la restauración no es necesaria) y que propicien una elevada durabilidad de la intervención. Solo de este modo se puede racionalizar la inversión y espaciar en el tiempo la

siguiente, con la obvia reducción de costes a medio y largo plazo. Este razonamiento incluye la racionalidad de los materiales de intervención, la compatibilidad entre estos y los existentes (originales o no), evitando las soluciones “milagrosas”, los productos innovadores, que no por nuevos son necesariamente mejores y respetando los materiales y las técnicas de ejecución del bien patrimonial. Igualmente incluye la racionalidad en intervenciones arquitectónicas de alcance estructural, en las que a menudo hemos podido ver soluciones muy agresivas para corregir desplazamientos existentes que un mínimo estudio hubiera permitido atribuir al proceso constructivo o a circunstancias que se dieron en algún momento de la historia: la confusión entre “se ha movido” y “se está moviendo” ha inducido a soluciones estructurales no solamente excesivamente costosas, sino claramente perjudiciales para el edificio. Evitaremos citar ejemplos porque la lista se haría interminable.

CONSERVACIÓN PREVENTIVA Y MANTENIMIENTO

La conservación preventiva en patrimonio histórico se refiere a todas las medidas y acciones que se puedan tomar para evitar o minimizar los daños y deterioros en los bienes culturales y patrimoniales a lo largo del tiempo. El objetivo principal es preservar y mantener el patrimonio histórico en las mejores condiciones posibles, evitando así la necesidad de intervenciones costosas y destructivas en el futuro y es una práctica integral que requiere la colaboración de expertos en diferentes disciplinas, como conservadores, arquitectos, científicos, administradores y las comunidades locales. En realidad, no por obvio hay que dejarlo de mencionar porque solo con la aplicación de estos principios y práctica se puede garantizar la preservación a largo plazo del patrimonio histórico para las generaciones futuras (ICCROM 2023).

Por tanto, en el marco conceptual expresado en los párrafos anteriores y asumiendo que —en ocasiones— la mejor intervención es la que no tiene lugar, resulta evidente que las acciones tendentes a espaciar las intervenciones son positivas en todos los sentidos. El balance financiero evidencia que el dinero invertido en conservación preventiva y mantenimiento economiza significativamente los costes globales de reparación, restauración y uso del bien cultural. Por tanto, siempre en el marco de la sostenibilidad, resulta aconsejable la previsión (también económica) de las acciones de conservación preventiva y mantenimiento. Estos son conceptos que en la mayoría de museos están plenamente asumidos y se ponen sistemáticamente en práctica, pero que en patrimonio arquitectónico están mucho menos generalizados (Giráldez y Vendrell-Saz 2018).

En general, las acciones preventivas y el mantenimiento regular son mínimamente invasivas o, simplemente, en muchos casos no actúan sobre el



Revoco de cal en una fachada del centro histórico de Carmona (Sevilla): aporta la calidez y la textura de un revestimiento de cal aérea que contrasta muy positivamente con la mayoría de revocos de mortero de cemento pintados. Además de la sostenibilidad implícita del material, no está afectada por desprendimiento de pintura, con lo que la intervención acaba siendo más durable (sostenible en en sentido económico y funcional de la aplicación) | foto Fempatrimoni 2.0

mismo bien cultural sino en su entorno y de alguna manera podrían resumirse en los siguientes puntos:

1. Monitorización y evaluación regular y sistemática del estado de los bienes culturales, lo que implica inspecciones periódicas para identificar signos de deterioro, cambios en las condiciones ambientales, amenazas potenciales, etc.
2. Mantenimiento adecuado y regular es esencial para prevenir problemas mayores, incluyendo la limpieza cuidadosa y con productos adecuados, la protección contra la humedad y la corrosión, la reparación sistemática de elementos dañados, la consolidación de estructuras frágiles, entre otras acciones. En el caso de patrimonio arquitectónico es especialmente importante la envolvente del edificio, que incluye fachadas, cubiertas y oberturas; se deben realizar tareas de mantenimiento adecuadas, como limpieza, reparación de daños, sellado de grietas, protección contra la humedad y la corrosión, para evitar la entrada de agua y otros agentes dañinos.
3. Control de las condiciones ambientales adecuadas en los espacios donde se encuentra el patrimonio histórico, como controlar la temperatura, la humedad relativa, la iluminación, la calidad del aire, etc., para evitar fluctuaciones extremas que puedan causar daños.
4. Gestión de riesgos: se deben identificar y evaluar los posibles riesgos que podrían afectar al patrimonio histórico, como incendios, inundaciones, terremotos, vandalismo, etc., implementando las medidas de seguridad nece-

Calatayud, construida sobre terreno con yesos y arcillas expansivas, genera asentamientos diferenciales de magnitud centimétrica: el sistema constructivo con losanas de los balcones de madera, capaces de asumir la deformación estructural sin daños significativos. Al final es cuestión de adaptar los emmarcamientos a la deformación asumible

A la derecha, construcción popular de tapia y madera. Un vivo ejemplo habitacional de construcción sostenible, con materiales de la zona (km 0), sin residuo alguno y cuya potencial demolición no genera materiales para vertederos controlados y con un comportamiento térmico excelente. Sostenibilidad no es sólo construir así, sino mantener viva esta tradición | fotos Fempatrimoni 2.0



sarias y definiendo planes de emergencia para reducir esos riesgos y estar preparados para responder en caso de desastres.

5. Educación y capacitación del personal encargado de la conservación y del público en general son fundamentales; se deben proporcionar programas de formación para promover la comprensión de la importancia del patrimonio histórico y enseñar buenas prácticas de conservación.

6. El acceso controlado a las áreas donde se encuentra el patrimonio histórico puede ayudar a protegerlo de daños causados por el contacto humano, el uso indebido o la manipulación inadecuada. Esto implica establecer normas de acceso y supervisar la visitas.

7. Documentación y registro: es fundamental llevar un registro detallado y preciso de los bienes culturales, incluyendo información sobre su historia, características técnicas, condiciones actuales, intervenciones anteriores, etc. Esto facilita el seguimiento de los cambios a lo largo del tiempo y ayuda en la toma de decisiones futuras.



Transductor de desplazamiento con una precisión de 1 micra instalado en una fisura estructural en la fachada de la iglesia parroquial de Constantí. Se encuentra conectado a un cuadro de maniobras y *data logger* del sistema de monitorización, que consta de 4 fisurómetros como el de la figura y dos PT100 de lectura de la temperatura interior y exterior | foto Fempatrimoni 2.0

DIVULGACIÓN, COMUNICACIÓN, TRANSPARENCIA

El destinatario final del patrimonio cultural es la ciudadanía, local o foránea, que disfrutará del patrimonio conservado en los museos o visible en el exterior y del que gozarán de la a veces mínima información disponible *in situ*. En este sentido, cualquier acción de transparencia, divulgación y explicación pública de los estudios y la restauración que se está llevando a cabo ayudará a la comprensión de las acciones realizadas para la conservación de los bienes culturales (Campillo-Alhama y Martínez-Sala 2019). La divulgación de las intervenciones de restauración de patrimonio es esencial para promover su conservación y apreciación. Y es de vital importancia adaptar las estrategias de difusión a diferentes públicos y canales de comunicación para garantizar que la información llegue a un número significativo de personas interesadas en el patrimonio o que puedan llegar a interesarse. Además, la transparencia en las acciones de protección ayudará a fomentar la participación y la interacción con el público, que puede generar un mayor sentido de pertenencia y conciencia sobre la importancia de la preservación del patrimonio cultural (Carrera Díaz y Delgado Méndez 2012).

Sin perder de vista que la sostenibilidad, en el sentido amplio y no exclusivamente ecológico vertido en este texto, pasa por un mejor uso y una mejor comprensión por parte de los usuarios finales, de los técnicos implicados, de los gestores del patrimonio y de los responsables del mismo, las acciones de divulgación han de ser consideradas como una necesidad lateral de la sostenibilidad en patrimonio cultural.

TENDENCIAS Y FUTURO DE LA SOSTENIBILIDAD EN PATRIMONIO CULTURAL

En cuanto a las tendencias observadas en la aplicación de la química verde en conservación, se evidencian mejoras en los tratamientos e intervenciones, donde se han adoptado metodologías que minimizan los riesgos toxicológicos para los restauradores y para el medio ambiente. Para ello se está virando en restauración al uso alternativo de productos no tóxicos, como solventes respetuosos con el medio ambiente o la eliminación completa de químicos, como en la limpieza láser, la eliminación de productos cancerígenos o partículas nocivas, todo ello sin detrimento de la eficacia de los tratamientos (Casini, Chelazzi y Baglioni 2023).

Resulta evidente el interés de la aplicación de técnicas de análisis microinvasivas, no destructivas y no invasivas, algunas portátiles e incluso sin contacto, lo que evita el desplazamiento de las obras al laboratorio eliminando los riesgos de transporte y manipulación, implementadas con métodos matemáticos y quimiométricos para facilitar su interpretación (Moreno-Soto et ál. 2023). Muchos de estos conocimientos se importan desde otras disciplinas adaptándolos a los requisitos de todo el proceso de restauración, de compatibilidad con los materiales del bien, reversibilidad, durabilidad y eficiencia. Este proceso requiere de evaluaciones para su implantación con garantías en el campo de la conservación de bienes culturales y depende fuertemente de la investigación y del apoyo económico para que se desarrollen metodologías de conservación verdes y sostenibles que sustituyan progresivamente a las tradicionales. El desarrollo es lento, aunque la creciente conciencia-

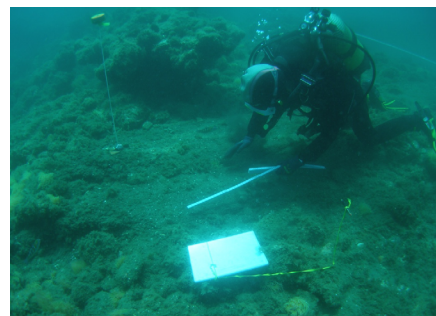


La limpieza láser de los hilos metálicos permite una limpieza precisa y controlada de forma no invasiva, eliminando la suciedad y los contaminantes sin dañar el material original | foto Fondo gráfico IAPH (Eugenio Fernández Ruiz)

ción por la conservación verde y sostenible de nuestro patrimonio cultural es indiscutible, tanto por parte de los conservadores y restauradores como por las instituciones implicadas. Las dificultades añadidas son muchas, como la comercialización de los productos sostenibles alternativos, la escasa difusión en medios accesibles a restauradores sobre las investigaciones y evaluaciones de productos y metodologías verdes en conservación, el elevado coste e inaccesibilidad de tratamientos, metodologías y técnicas de análisis innovadores como gran parte de las técnicas no invasivas, solo disponibles en instituciones públicas y centros de investigación, escasez de investigaciones para avanzar en la implantación de una conservación sostenible... y otras más como que aún quedan restauradores que prefieren utilizar metodologías tradicionales a pesar de que se emplean productos tóxicos y/o cancerígenos debido a su mayor eficiencia o menor costo con respecto a otras alternativas más ecológicas y sostenibles (Isola et ál. 2023).

A todo ello habría que añadir los conceptos expresados en apartados anteriores en el sentido de minimizar y espaciar temporalmente las intervenciones, potenciar la conservación preventiva y el mantenimiento y supeditar el plan de usos de una obra de arte o de un edificio o conjunto a los posibles, aunque no coincidan con los deseados. Sin olvidar la compatibilidad entre materiales existentes y de restauración, lo que sin duda redunda en la durabilidad y estabilidad de las intervenciones. Igualmente será necesario un esfuerzo en el desarrollo de técnicas de análisis no invasivas y no destructivas. Probablemente el tiempo y el desarrollo de estas potenciará el uso de algunas, quizás en detrimento de otras que, por falta de patronaje o por la complejidad de interpretación serán progresivamente descartadas. Es decir: conocimiento, diagnóstico, reflexión y finalmente, si procede, intervención.

Igualmente, considerando que buena parte de la conservación y restauración del patrimonio está en manos o pasa por las manos de las administraciones públicas, la racionalización de los plazos administrativos puede contribuir muy decisivamente en la conservación sostenible del patrimonio. Concursos preparados a lo largo de 6 meses, tras 4 de resolución y adjudicación, no pueden dar lugar a proyectos o intervenciones a ejecutar en 3 meses, incluyendo –cuando existe– la fase de conocimiento y diagnóstico. Si ello precisa de la modificación legislativa pertinente, son las propias administraciones, en su vertiente política y legislativa, las que tienen capacidad de llevarlo a cabo.



Análisis no invasivo de un cañón de hierro del pecio Bucentaure (Cádiz) empleando sonda LIBS bajo el agua con inyección de helio para evitar la entrada de agua en la fibra | foto Fondo gráfico IAPH (Aurora Higuera-Milena Castellano)



Análisis no invasivo mediante difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X portátil para la caracterización de las pinturas de la Sala de la Reyes en la Alhambra (Granada) | foto Fondo gráfico IAPH (Auxiliadora Gómez Morón)

BIBLIOGRAFÍA

- Ager, F.J., Ferretti, M., Grilli, L., Juanes, D., Ortega-Feliu, I., Respaldiza, M.A., Roldán, C. y Scrivano, S. (2017) Reconsidering the accuracy of X-ray fluorescence and ion beam based methods when used to measure the thickness of ancient gildings. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, vol. 135, pp. 42-47
- An, L., Song, C., Zhang, Q. y Bohnett, E. (2022) *Conservation effectiveness and concurrent green initiatives*. London: Routledge, Taylor & Francis Group
- Arreche, R. y Vázquez, P. (2020) Green biocides to control biodeterioration in materials science and the example of preserving World Heritage Monuments. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, vol. 25. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100359>
- Baglioni, P. y Chelazzi, D. (2021) How science can contribute to the remedial conservation of cultural heritage. *Chemistry A European Journal*, vol. 27, n.º 42, pp. 10798-10806
- Baia, X., Oujja, M., Sanz, M., Lopez, M., Koch Dandolo, C., Castillejo, M. y Detalle, V. (2019) Integrating LIBS LIF Raman into a single multi-spectroscopic mobile device for in situ cultural heritage analysis. *Proceedings SPIE 11058, Optics for Arts, Architecture, and Archaeology VII, 1105818 (12 July 2019)*. Disponible en: <https://doi.org/10.1117/12.2527272> [Consulta: 23/06/2023]
- Becerra, J., Zaderenko, A.P., Gómez-Morón, A. y Ortiz, P. (2019) Nanoparticles Applied to Stone Buildings. *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 15, n.º 9, pp. 1-16. doi: 10.1080/15583058.2019.1672828
- Campillo-Alhama, C. y Martínez-Sala, A. (2019) Events 2.0 in the transmedia branding strategy of World Cultural Heritage Sites. *El profesional de la información*, vol. 28, n.º 5, e280509. Disponible en: <https://doi.org/10.3145/epi.2019.sep.09> [Consulta: 23/06/2023]
- Carrera Díaz, G. y Delgado Méndez, A. (2012) La antropologización del patrimonio y la patrimonialización de la cultura. Documentar el patrimonio etnológico en el IAPH. *Revista Andaluza de Antropología*, vol. 2, pp. 108-127.
- Casini, A., Chelazzi, D. y Baglioni, P. (2023) Advanced methodologies for the cleaning of works of art. *Science China Technological Sciences*. doi: <https://doi.org/10.1007/s11431-022-2348-7>
- Di Turo, F. y Medeghini, L. (2021) How green possibilities can help in a future sustainable conservation of cultural heritage in Europe. *Sustainability*, vol. 13, n.º 7, 3609. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su13073609> [Consulta: 22/06/2023]
- Domingo Sanz, I., Vendrell, M. y Chieli, A. (2021) A critical assessment of the potential and limitations of physicochemical analysis to advance knowledge on Levantine rock art. *Quaternary International*, vol. 572, pp. 24-40. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.09.020>
- Furferi, R., Governi, L., Volpe, Y., Gherardini, F. & Seymour, K. (ed.) (2023) *The Future of Heritage Science and Technologies. Design, Simulation and Monitoring*. Cham: Springer
- Gałuszka, A., Zdzisław M. y Namieśnik, J. (2013) The 12 principles of green analytical chemistry and the SIGNIFICANCE mnemonic of green analytical practices. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. 50, pp. 78-84
- Giráldez, P. y Vendrell-Saz, M. (2018) *Intervenció i gestió sostenible del patrimoni històric*. Barcelona: Patrimoni2.0 Editors
- Gómez-Morón, A. Ortiz, P., Ortiz, R., Martín, J.M., Mateo, M.P. y Nicolás, G. (2016) Laser-induced breakdown spectroscopy study of silversmith pieces: the case of a Spanish canopy of the nineteenth century. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, vol. 122, n.º 5, pp. 548-57. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00339-016-0051-6> [Consulta: 23/06/2023]
- Gómez Morón, A. (2021) *Evaluación de la metodología mediante técnicas analíticas no invasivas para la investigación, caracterización y diagnóstico aplicada a casos del patrimonio cultural andaluz*. Tesis doctoral inédita. Universidad Pablo de Olavide. Disponible en: <https://rio.upo.es/xmlui/handle/10433/11642> [Consulta: 23/05/2023]
- Haalpap, A. (2022) *Química verde y sostenible: Manual de Referencia. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*. Disponible en: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35312/GreenChemistry_ESSP.pdf [Consulta: 10/05/2023]
- ICCROM [Centro Internacional de Estudios de Conservación y Restauración de los Bienes Culturales] (2023) *Conservación preventiva*. Disponible en: <https://www.iccrom.org/es/section/conservaci%C3%B3n-preventiva> [Consulta: 11/06/2023]
- Isola, D., Bartoli, F., Casanova Municchia, A., Ju Lee, H., Hye Jeong, S., Chung, Y. y Caneva, J. (2023) Green biocides for the conservation of hypogeal mural paintings raised from Western and Eastern traditions: Evaluation of interference on pigments and substrata and multifactor parameters affecting their activity. *Journal of Cultural Heritage*, vol. 61, pp. 16-26. doi: 10.1016/j.culher.2023.03.009
- Juanes Barber, D. (2008) Métodos de caracterización de bienes culturales. Aplicaciones de la microscopía óptica y electrónica del barrido. En: *La Ciencia y el Arte. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio histórico*. Vol. 1, pp. 68-80. Madrid: Instituto del Patrimonio Histórico Español

- Liritzis, I. y Korka, E. (2019) Archaeometry's Role in Cultural Heritage Sustainability and Development. *Sustainability*, vol. 11, n.º 7, 1972. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su11071972> [Consulta: 22/06/2023]
- Madariaga, J.M. (ed.) (2021) *Analytical Strategies for Cultural Heritage Materials and Their Degradation*. Royal Society of Chemistry
- Moreno-Soto, J., Križnar, A., Ager, F.J., Gómez-Morón, A., Gamero-Osuna, A., Martín-de-Soto, A. y Respaldiza, M.A. (2023) Zurbarán attribution hypothesis supported by pigment analysis and multiband images observation of four paintings by his workshop. *Scientific Reports*, vol. 13, n.º 844. doi: 10.1038/s41598-023-27677-2
- ONU [Organización de Naciones Unidas] (2023) Sostenibilidad. Disponible en: <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/sostenibilidad> [Consulta: 05/06/2023]
- Płotka-Wasyłka, J. y Namieśnik, J. (2019) *Green Analytical Chemistry: Past, Present and Perspectives*. Singapore: Springer
- Potts, A. (2021) *Libro Verde del Patrimonio Cultural Europeo. Poniendo el patrimonio compartido de Europa en el centro del Pacto Verde Europeo*. La Haya y Bruselas: Europa Nostra. Disponible en: <https://openarchive.icomos.org/id/eprint/2554/1/2021-European%20Cultural%20Heritage%20Green%20Paper-ES.pdf> [Consulta: 22/06/2023]
- Vila, A. y Murray, A. (ed.) (2022) Diagnosis: Before, During, After. *CONSERVATION 360º*, n.º 2. Disponible en: https://monografias.editorial.upv.es/index.php/con_360/issue/view/5 [Consulta: 22/06/2023]