

Mantenimiento, control y conservación preventiva en monitorización continua con señales de alarma automáticas

Joaquín García Álvarez, Daniel Basulto García-Risco, José Carlos García García | Fundación Santa María la Real del Patrimonio

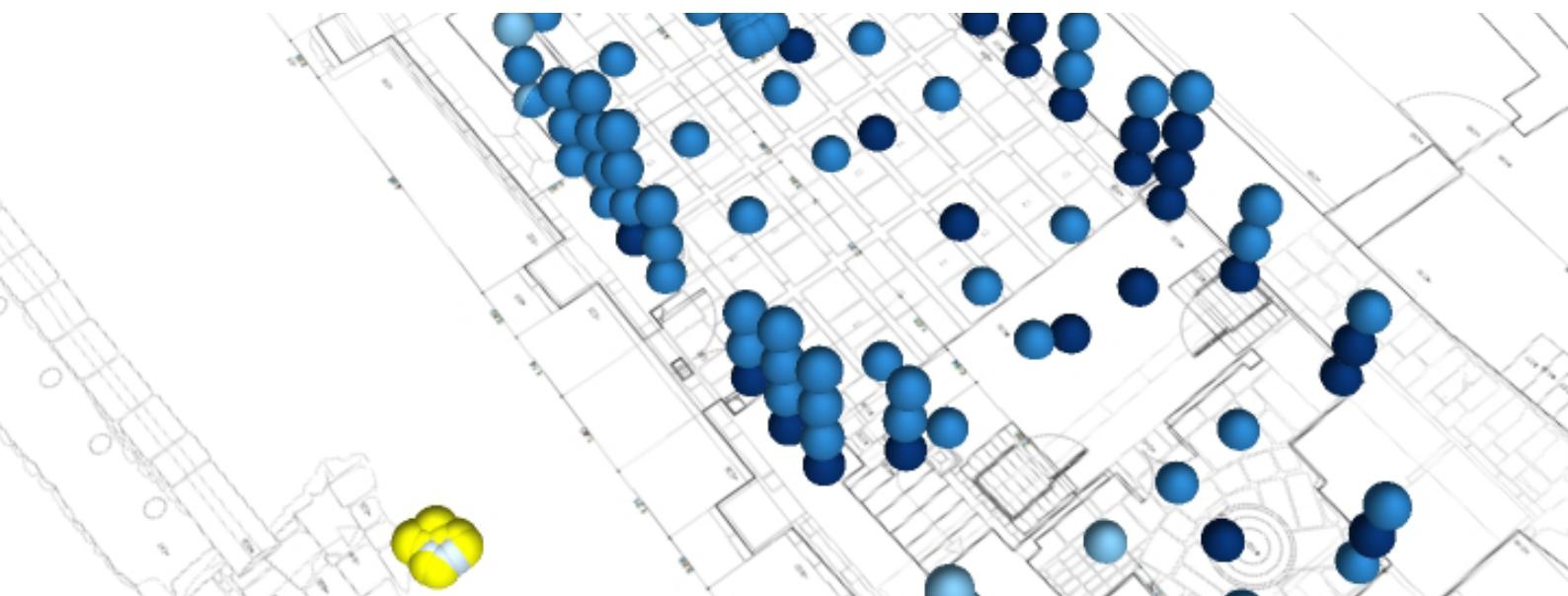
URL de la contribución <www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/5396>

RESUMEN

La incorporación de la tecnología al servicio de la conservación preventiva es una de las confluencias más útiles que se han desarrollado en los últimos tiempos en el ámbito de la conservación del patrimonio. En muchas ocasiones la verdadera innovación surge de la unión afortunada de procesos procedentes de diferentes ámbitos pero que, bien por tesón, bien por casualidad, alguien descubre que juntos funcionan. La conservación preventiva se puede considerar como una de las estrategias más responsables y sostenibles para abordar la conservación monumental, por su reducida intervención sobre el bien, la optimización de los recursos y la constante evaluación del estado de conservación. Por otro lado, el empleo de tecnología y, en concreto, de sistemas de control de parámetros de conservación ha sido siempre una herramienta útil al servicio del diagnóstico del patrimonio. Esto se está viendo superado hoy en día, sigue siendo de enorme utilidad, pero hay más. La unión de estos dos procesos, con el apoyo de la digitalización, está suponiendo una herramienta con un potencial fascinante de generación de conocimiento que nos ayude a conocer mejor nuestro patrimonio. La cantidad y calidad de la información generada es un activo valiosísimo dentro del corpus de conocimiento del bien, y puede resultar de gran utilidad para su empleo en la generación de patrones de normalidad, análisis predictivos y todas aquellas posibilidades que la ciencia y el conocimiento humano sean capaces de generar con esta información.

Palabras clave

Conservación preventiva | Digitalización | Monitorización | Tecnologías |



Maintenance, control and preventive conservation in continuous monitoring with automatic alarm signals

ABSTRACT

The incorporation of technology at the service of preventive conservation is one of the most useful confluences that have been developed in recent times in the field of heritage conservation. On many occasions, true innovation arises from the fortunate union of processes that come from different fields but which, either by tenacity or by chance, someone discovers that they work together. Preventive conservation can be considered one of the most responsible and sustainable strategies for approaching monumental conservation, due to its reduced intervention on the property, the optimisation of resources and the constant evaluation of the state of conservation. On the other hand, the use of technology and, specifically, of systems for monitoring conservation parameters has always been a useful tool in the service of heritage diagnosis. This is being surpassed today, it is still extremely useful, but there is more to it. The union of these two processes, with the support of digitalisation, is creating a tool with a fascinating potential to generate knowledge that will help us to better understand our heritage. The quantity and quality of the information generated is an invaluable asset within the corpus of knowledge of the property, and can be of great use for its use in the generation of patterns of normality, predictive analysis and all those possibilities that science and human knowledge are capable of generating with this information.

Key words

Preventive Conservation | Digitization | Monitoring | Technologies |

Cómo citar: García Álvarez, J., Basulto García-Risco, D. y García García, J.C. (2023) Mantenimiento, control y conservación preventiva en monitorización continua con señales de alarma automáticas. *revista PH*, n.º 110, pp. 156-176. Disponible en: www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/5396
 DOI 10.33349/2023.110.5396

Enviado: 01/06/2023 | **Aceptado:** 30/06/2023 | **Publicado:** 10/10/2023

A pocas personas se les escapa la idea que se transmitió en la década de los años 80 del siglo XX de “Más vale prevenir”, representada en la figura del presentador de televisión Ramón Sánchez Ocaña. Esta idea es, como se puede entender, perfectamente aplicable al patrimonio. En esta línea de pensamiento y siempre heredero del ámbito médico, pues los paralelismos entre la medicina y la conservación del patrimonio son innumerables, encontramos la incorporación de tecnología al diagnóstico de dolencias y enfermedades. Entre estas tecnologías encontramos las analíticas y recopilación de datos que se emplean para evaluar el estado de salud de un individuo y, por extensión de una colectividad.

En este artículo vamos a tratar los dos conceptos, el de la importancia de la prevención y del empleo de la tecnología para el auxilio en esa labor, aplicados a la conservación del patrimonio.

CONSERVACIÓN PREVENTIVA

La conservación preventiva es un concepto que nace vinculado a la conservación de colecciones de museos y se define, según ICCROM, como “todas las medidas y acciones destinadas a evitar y minimizar el deterioro o la pérdida futura. Se llevan a cabo en el contexto o en el entorno de un objeto, pero más a menudo en un grupo de objetos, independientemente de su edad y condición. Estas medidas y acciones son indirectas, es decir, no interfieren con los materiales y estructuras de los objetos. No modifican su apariencia”.

Por su parte, el *Plan Nacional de Conservación Preventiva* la define como “estrategia de identificación, detección y control de los factores de deterioro de los bienes culturales, con el fin de minimizar sus efectos en los mismos. Consiste en una actuación continuada en el entorno de los bienes para evitar, en la medida de lo posible, la intervención directa sobre los mismos.

La complejidad en la conservación de los bienes culturales, en especial de algunos, como los centros históricos de las ciudades, los paisajes culturales, el arte rupestre y los bienes culturales ligados a ecosistemas naturales, o los componentes del patrimonio inmaterial, exige herramientas específicas y complejas, muy diferentes a las desarrolladas hasta ahora para la aplicación de estrategias adecuadas de conservación preventiva.

El *Plan Nacional de Conservación Preventiva* se concibe como el instrumento necesario para la generalización de modelos organizativos, métodos de trabajo, criterios de actuación y protocolos o herramientas de gestión como principio fundamental para la conservación del patrimonio cultural y su mantenimiento de forma viable y sostenible en el tiempo. Todo ello teniendo en cuenta los recursos disponibles, la necesidad de compatibilizar el dese-

ble uso y disfrute de los bienes culturales con su conservación, y la necesaria implicación de la sociedad en este objetivo." (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte 2018).

Vemos que aquí la conservación preventiva se concibe como una estrategia que abarca no solo a colecciones u objetos, sino a bienes de interés cultural en su sentido más amplio.

Por nuestra parte, desde la Fundación Santa María la Real del Patrimonio Histórico (FSMLRPH) pensamos que es la única estrategia verdaderamente sostenible para garantizar la transmisión del legado cultural a generaciones futuras; sostenible, en cuanto a la conservación de los valores del bien, y social y económicamente, por favorecer un uso responsable de los recursos como elaboraremos más adelante.

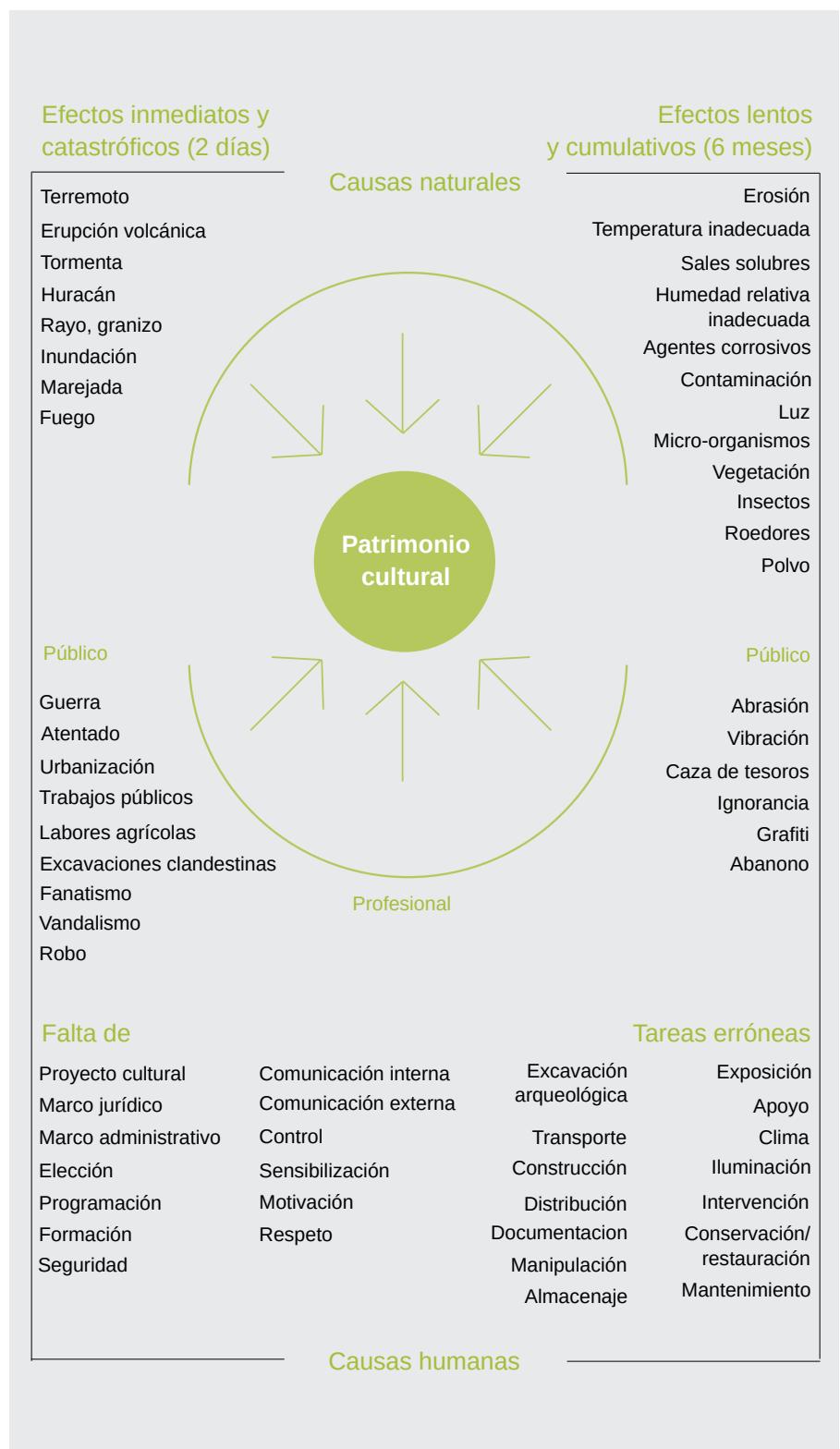
INFORMACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN PREVENTIVA

Una de las herramientas necesarias, entre otras, para la aplicación efectiva de esta estrategia de conservación preventiva está vinculada a la información de la que disponemos y al conocimiento de las condiciones de conservación del bien sobre el que estamos trabajando.

Dicho de otra manera, se trata de conocer y controlar los riesgos que pueden afectar a la conservación del bien para poderlos evitar, minimizar o erradicar. Estos riesgos de deterioro se estructuran en una serie de indicadores de los cuales los más relevantes serían:

- > Ausencia de la documentación básica sobre el bien cultural.
- > Manipulación, disposición y transporte incorrectos.
- > Catástrofes como incendios, terremotos o inundaciones.
- > Seguridad frente a acciones antisociales como robo, expolio o vandalismo.
- > Condiciones ambientales inadecuadas.
- > Plagas causantes de biodeterioro.
- > Negligencia en los procedimientos de seguimiento y control (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte 2014).

La evolución de los indicadores relacionados con el conocimiento del monumento, que serían los relativos a la documentación básica del bien cultural y



Propuesta de los agentes agresores y canales de agresión por Gaél de Guichen | fuente Ministerio de Educación, Cultura y Deporte 2017, 19

de las condiciones ambientales, depende en buena medida de la información de la que dispongamos y de la profundidad del conocimiento sobre los diferentes aspectos que forman parte de la realidad material y administrativa del bien.

Por tanto, y de forma sintética, la información necesaria para realizar una conservación preventiva adecuada pasa por el conocimiento detallado del bien en los siguientes ámbitos:

- > La realidad administrativa en cuanto a la determinación de la propiedad del bien, cesiones, dependencias de las administraciones y obligaciones legales derivadas de declaraciones institucionales.
- > La gestión del monumento en sus aspectos operacionales, económicos, de mantenimiento, contratos, etc.
- > La realidad histórica, referida al conocimiento de su evolución a lo largo del tiempo, de las restauraciones acometidas, de los proyectos existentes y sus determinaciones, de las acciones de conservación realizadas.
- > La realidad material, expresada en el inventario de sus elementos, sus materiales y técnicas constructivas, su estado de conservación, y la influencia de las condiciones ambientales en la evolución de los deterioros.

Nos centraremos en este artículo en la determinación de las condiciones medioambientales y estructurales que garanticen una correcta conservación del bien con el apoyo de la tecnología. Sin embargo, no debemos perder de vista que la tecnología puede ser utilizada en el resto de ámbitos que afectan a la conservación preventiva mediante la incorporación de bases de datos relacionadas que contribuyan al control y seguimiento de las acciones que se deban realizar. Esta estrategia es además generadora de conocimiento aplicable a la gestión del monumento.

Estudio de las condiciones ambientales y estructurales

El seguimiento y control de los parámetros relativos a las condiciones ambientales y estructurales de los bienes se construye según el siguiente procedimiento: adquisición de datos, sistematización, análisis e interpretación, que permite extraer, gestionar y tratar la información relevante. De esta forma la toma de decisiones se verá apoyada por información objetiva, estructurada y analizada.

Adquisición de datos

En cuanto a la adquisición de datos, en realidad, los instrumentos para la medición de las condiciones de conservación se han venido empleando desde que comenzó a restaurarse con metodología científica. En sus inicios, la medición



Modelo de fisurómetro para control estructural
| fuente Fundación Santa María la Real del Patrimonio, de todas las imágenes que ilustran este artículo si no se indica lo contrario

de condiciones ambientales y estructurales se basaba principalmente en la observación visual y en la experiencia de los especialistas. Se examinaban detenidamente los edificios y monumentos históricos, identificando signos evidentes de deterioro o daño, como grietas, humedad o desprendimiento de materiales. Sin embargo, esta metodología presentaba limitaciones significativas, ya que se basaba en el conocimiento experto en el que inevitablemente tomaba parte la subjetividad y la interpretación individual.

Con el avance de la ciencia y la tecnología, surgieron herramientas más precisas y fiables. En el campo de las condiciones ambientales, los primeros instrumentos utilizados fueron los termohigrómetros, que permitían medir la temperatura y la humedad relativa del ambiente circundante. Estos dispositivos eran esenciales para comprender los efectos de la humedad y la variación de temperatura en los materiales históricos, por su capacidad para alterar las condiciones físico-químicas de los materiales.

Más adelante, surgieron otros dispositivos de medición para evaluar las condiciones ambientales. Por ejemplo, los medidores de luz ayudaron a determinar la exposición a la radiación ultravioleta, que puede causar decoloración y daño a los pigmentos y materiales sensibles a la luz. Los medidores de dióxido de carbono y los detectores de partículas permitieron evaluar la calidad del aire y la presencia de contaminantes que pueden acelerar la degradación de los materiales históricos. Estos avances en la medición de las condiciones ambientales brindaron una comprensión más precisa de los factores que afectan la conservación del patrimonio histórico.

En cuanto a las mediciones estructurales, también se produjeron avances significativos. Por ejemplo, el uso de instrumentos como los fisurómetros, extensómetros y los inclinómetros permitió medir deformaciones y movimientos en las estructuras históricas. Estas mediciones proporcionaron datos cuantitativos sobre la respuesta estructural y la estabilidad de los edificios históricos ante diferentes cargas y condiciones.

Todos estos instrumentos permitían el registro de forma analógica, de manera que el dato se evaluaba y registraba de forma manual. Esto solo permitía disponer de una muestra reducida de información, parcial y en numerosas ocasiones no relacionada temporalmente entre las diferentes mediciones.

El siguiente paso se dio con la aparición de los *dataloggers*, que incorporaban los sensores de medición antes descritos, cualquiera de ellos, a un sistema de registro de esta información de forma continua, lo que proporcionaba información valiosa sobre la evolución del parámetro medido a lo largo del tiempo. Generalmente la instalación quedaba limitada a cortos períodos de tiempo, limitados a un ámbito temporal determinado por las necesidades de conocimiento asociadas al diagnóstico.

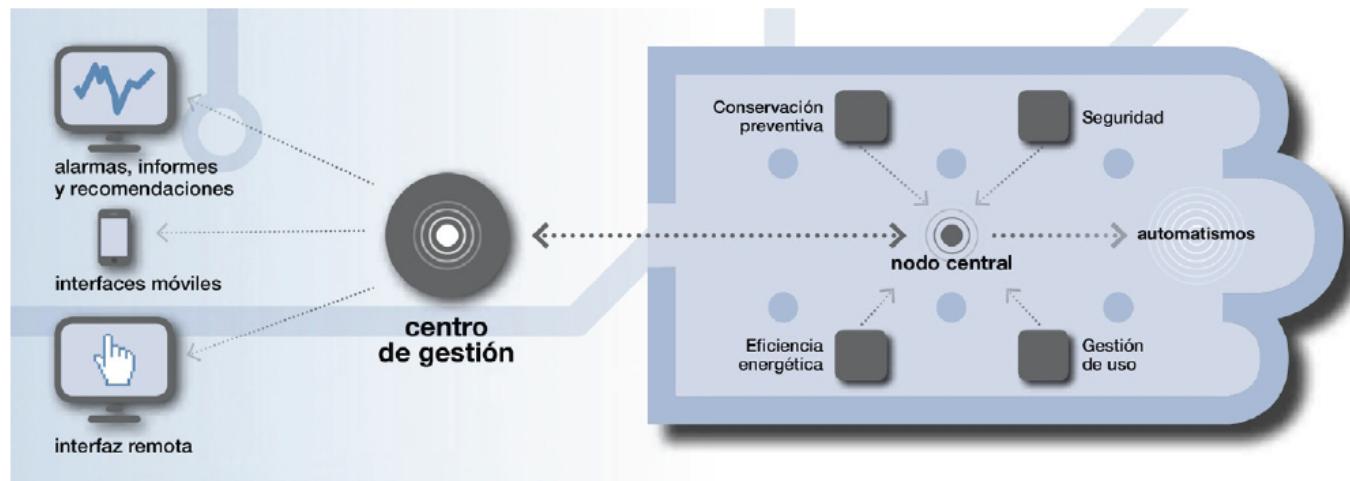
Estos equipos solían ser portátiles, pero sin conexión exterior y por lo tanto era necesario acudir cada cierto tiempo para descargar la información para traspasarla después al ordenador donde se iba a realizar el análisis. La información no estaba disponible en tiempo real.

En el caso de la Fundación Santa María la Real de Patrimonio Histórico (FSMLRPH), cuando se comenzó a trabajar con la adquisición de datos, ya existían los equipos para el control de parámetros relacionados con la conservación del sitio que se han descrito. Sin embargo, como ha ocurrido en innumerables ocasiones, se trataba de instrumentos generados en otros ámbitos, la industria generalmente, que no atendían a las necesidades específicas del lugar donde se iban a instalar. Por esta razón el equipamiento no se integraba de forma adecuada con el elemento patrimonial a estudiar, bien por sus dimensiones o por la necesidad de cablearlos para mantener el sensor operativo, como en el caso de la sensórica estructural.

Además de esto, la interpretación de la información recibida no respondía de forma exacta a las necesidades de conocimiento establecidas, limitándose como se ha dicho fundamentalmente al diagnóstico, principalmente porque los períodos medidos eran bastante limitados, y a la representación gráfica de los resultados sin ningún tipo de información cualitativa que vinculase los datos recibidos con, por ejemplo, la condición de conservación del bien.

Por estas razones y porque la digitalización se entiende como una herramienta al servicio de la conservación preventiva, se tomó la decisión de desarrollar un sistema al servicio de la restauración, que cubriese las carencias detectadas: la integración en los elementos patrimoniales, la transmisión de la información, siempre que sea posible, de forma inalámbrica, la adecuada interpretación de la información y su disponibilidad en tiempo real.

Esquema básico de funcionamiento del sistema MHS



El sistema desarrollado, MHS, se compone de una serie de unidades finales, denominadas nodos, que albergan diferentes sensores, y que se comunican de forma inalámbrica con un equipo central que es el que saca los datos al exterior, a las plataformas y bases de datos donde se procesa la información.

Hasta aquí hemos desarrollado de forma somera la evolución de los equipos dedicados a la caracterización de una situación de deterioro que requiere de atención en el corto plazo, es decir, al servicio del diagnóstico de una situación inadecuada.

Nos detendremos un instante en este punto, el diagnóstico. El diagnóstico, y por extensión la intervención, se ha entendido habitualmente como la necesidad de análisis de una situación de deterioro para plantear las acciones necesarias para su corrección. Es decir, el diagnóstico estaba orientado al abordaje de situaciones críticas o de emergencia. Es un planteamiento reactivo. Ante un evento reaccionamos corrigiendo el origen del daño y reparando, siempre que esto sea posible, sus efectos.

El cambio de paradigma se produce cuando la instrumentación, además de servir a un diagnóstico, se emplea para determinar las condiciones de normalidad de un bien y poder detectar anomalías en su comportamiento y corregirlas antes de que estas produzcan daños que conduzcan a una restauración.

Esto es importante porque, aunque dispongamos de los medios técnicos necesarios para abordar una restauración, en cada una de ellas perdemos algo de información respecto de la situación inicial y a su vez la condición, el estado del edificio, nunca será el mismo que cuando comenzó a originarse el daño. Asimismo, se plantea que, en términos económicos, la relación entre conservar un edificio de manera preventiva y hacerlo reactivamente oscila entre 3-1 y 4-1 a favor de la conservación preventiva, poniendo en el debate la conveniencia de ajustar los recursos en un entorno de escasez en la que el patrimonio no es nunca la prioridad frente a necesidades sociales o sanitarias.

Por el momento solo apuntaremos este cambio de paradigma pues será objeto de desarrollo posteriormente, cuando se hayan descrito los procesos necesarios para caracterizar las condiciones medioambientales de un bien patrimonial.

Una vez descritos los equipamientos posibles para poner a disposición de una caracterización medioambiental y presentado someramente el sistema desarrollado por la Fundación para su especialización en edificios patrimoniales, continuaremos con los procesos para lograr que la información que se genera sea útil para la conservación del monumento.

Se atribuye a Mark Twain el dicho de que “Los datos son como la basura. Es mejor saber que vas a hacer con ellos antes de recopilarlos”. Y es perfecta-

mente aplicable en nuestro contexto. Recopilar datos medioambientales o estructurales de un edificio sin un propósito claro o seleccionando inadecuadamente los puntos de control nos puede llevar a disponer de millones de datos completamente irrelevantes que nos conduzcan a conclusiones equivocadas que se reflejen posteriormente en propuestas de acción que sean más perjudiciales que beneficiosas.

Es por ello que la adquisición de datos requiere, como ya se ha dicho, pero conviene recalcar, de un proceso de planificación, implantación, recogida, análisis y conclusiones riguroso y exhaustivo que contemple diferentes opciones para seleccionar la que se considere más óptima de acuerdo a las necesidades de conocimiento.

Nos centraremos en este caso en el control de las condiciones estructurales y ambientales, si bien el procedimiento ha de ser aplicado a cualquier instrumentación que se plantee.

Planificación

En el caso de las condiciones medioambientales, la determinación de la ubicación del equipamiento resulta clave para que la información que obtengamos responda a las necesidades que tanto el gestor como el monumento manifiesten. Para ello resulta imprescindible un conocimiento previo de las situaciones que se pretenden controlar y, en caso de que este conocimiento no exista, una medición previa que ayude a identificar puntos críticos en los que el control de la evolución, por ejemplo, de los parámetros de humedad y temperatura, sea necesario.

Esta planificación busca, en primer lugar, una economía de medios, que redunda en dos aspectos: un menor coste del equipamiento y evitar, además, el sobredimensionamiento de la información recibida, que requiere mayor tiempo de procesamiento y análisis. Se trata de encontrar el número de equipos y la distribución óptima para lograr la cantidad y calidad de la información precisa para las necesidades de conocimiento de cada caso particular.

El conocimiento previo comienza, como no puede ser de otra manera, por una investigación de las circunstancias históricas del templo, los eventos recurrentes, las restauraciones sufridas, la situación administrativa y de la propiedad. Ningún aspecto es banal.

Asimismo, en cuanto a la caracterización material del bien, disponer de una buena documentación gráfica que refleje la realidad geométrica del edificio, conocer las características constructivas y los materiales de los que se compone resulta fundamental para realizar una propuesta de implantación del equipamiento adecuadas, además de ser útil para el diagnóstico general.

Con este conocimiento adquirido, resulta de gran ayuda la elaboración de una premonitorización del bien, para la que la FSMLRPH ha desarrollado una metodología propia basada en el control simultáneo de diferentes puntos de los ámbitos a estudiar y siempre relacionados con uno de control exterior. Citaremos en este caso el análisis realizado en la iglesia de San Pedro en Becerril del Carpio, vinculado el proyecto europeo HeritageCare, que se sustanciaba en los principios de la conservación preventiva, reflejados en el lema del proyecto *Prevention is better than cure*, al igual que el de nuestro popular programa de televisión citado al inicio del artículo.

El protocolo de premonitorización se fundamenta en la ubicación estratégica de un conjunto de 20 sensores de humedad y temperatura de forma simultánea en el templo. Los sensores se colocan a cuatro alturas, desde el suelo y a 1, 2 y 3 m de altura con el apoyo de varillas de aluminio. En el caso de la Iglesia de San Pedro, se fueron desplazando en líneas paralelas a lo largo de la nave. Al final se obtuvo una imagen de los valores de humedad y temperatura de un momento concreto pero que orientaba de forma clara sobre dónde ubicar algunos de los puntos de control.

El resultado de esta toma de datos es un conjunto de información recogida en un archivo de texto, que a primera vista resulta indescifrable excepto para un ojo experto.

Tras el necesario filtrado y limpieza de datos que resulten erróneos o fuera de rango, es necesario acudir a herramientas de representación gráfica que ayuden a interpretar la información obtenida.

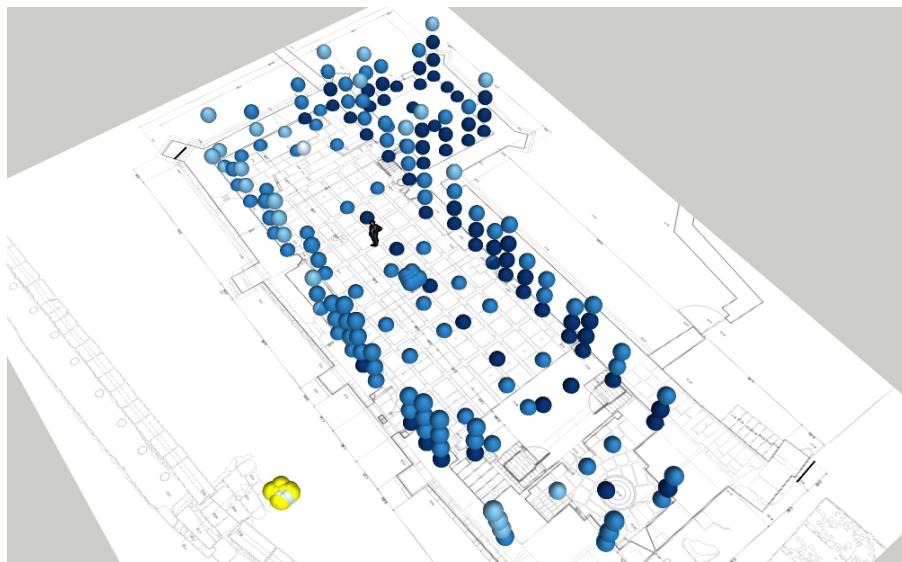
En el caso de la iglesia de San Pedro en Becerril del Carpio la metodología elegida para la representación gráfica fue la ubicación geoespacial de cada sensor, individualizado con su correspondiente identificador, mediante una herramienta de gestión SIG. Cada sensor tiene unos valores de latitud, longitud y altura que la ubican inequívocamente en el lugar donde se tomó la medición. Se le asignan posteriormente los valores de humedad y temperatura correspondientes a la toma de datos. En este caso, lo que se hace es congelar la medición en un instante temporal, asumiendo que las condiciones medioambientales exteriores no varían de forma significativa mientras se produce la medición.

Para la representación de los valores, se les asigna un color que varía en función del valor de la medición tomada. Para la imagen que se adjunta se representan los valores de humedad relativa, correspondiendo los más oscuros a la humedad relativa más elevada.

Estos resultados son consistentes con la situación del edificio, pues la cara norte se encuentra semienterrada debido a la existencia de un cementerio.



Preparación del sistema de premonitorización



Presentación de la información para su visualización mediante herramientas SIG

rio y, por tanto, la presencia de humedad intuida se verifica con la medición realizada.

En este caso, finalmente no se implantó una monitorización, pero en caso de haberse hecho este hubiera sido unos de los puntos elegidos para su control.

Cuando no puede realizarse esta premonitorización, el estudio detallado del bien, las lesiones que presenta, las necesidades expresadas por el propietario y la experiencia adquirida, como se ha descrito anteriormente, son las variables que determinan las propuestas de ubicación del equipamiento para los sensores ambientales. Como decimos, hay que ajustar el número de sensores y su ubicación para obtener un equilibrio entre presupuesto, información recibida y necesidades de conocimiento.

Es importante señalar que las mediciones de humedad y temperatura deben de ir siempre asociadas a un valor que las relacione con la temperatura y humedad en el exterior, puesto que se trata de información relevante que ayuda a la interpretación posterior de los resultados. El instrumento ideal para esta recogida de información exterior es mediante una estación meteorológica, que además recoja información sobre cantidad de lluvia, granizo, velocidad y dirección del viento y presión barométrica. Esta estación puede ser sustituida, cuando su instalación no sea posible, por un sensor exterior protegido de la acción directa del sol para evitar distorsiones en la medición.

En el caso de los sensores para la medición estructural, la disposición más obvia se considera la asociada a la expresión física de la lesión. Para grietas y fisuras, en su punto de máxima apertura, y en el caso de desplomes de

paramentos, en aquellos puntos que nos permitan identificar las variaciones de inclinación del elemento respecto de diferentes planos.

En relación con los sensores estructurales, además de la decisión de la ubicación, es de suma importancia la propia instalación del equipamiento para que las mediciones se correspondan con la realidad de lo que está sucediendo y no se vean alteradas por una incorrecta fijación del equipo. Es una práctica habitual que cuando es necesario realizar cualquier tipo de fijación sobre una fábrica histórica, en el caso de fábricas con la piedra a la vista, se busquen las juntas entre sillares o mampuestos para no dañar estos elementos.

Sin embargo, en mediciones estructurales, la fijación sobre morteros de junta significa su colocación sobre el material más endeble del conjunto, y como estamos midiendo variaciones en la mayoría de los casos milimétricas, la propia condición del mortero puede alterar la medición y, por tanto, y lo que es más importante, su interpretación. Esto es especialmente relevante porque la interpretación de los resultados y, por tanto, la propuesta de acciones para corregir problemas estructurales, suele conllevar decisiones de gran calado, a menudo irreversibles y de gran repercusión sobre el monumento.

Otro de los aspectos claves para la ubicación del equipamiento está en la realidad de las comunicaciones dentro y fuera del edificio. Como decimos, se trata de optimizar al máximo el número de equipos y las condiciones de cobertura no son siempre óptimas, por lo que es necesario un estudio de la cobertura en el edificio y el entorno con el fin de ubicar los repetidores necesarios para garantizar que la señal de todos y cada uno de los nodos finales llegue al central.

Podemos decir que la planificación de la instalación del equipamiento es uno de los procesos claves para conseguir una monitorización que responda de forma ajustada a las necesidades de conocimiento del bien estudiado. Saltarse este paso o realizarlo de forma parcial o descuidada puede conducir a interpretaciones erróneas y por tanto a soluciones equivocadas, con el consiguiente perjuicio patrimonial y económico.

Recogida, almacenamiento y procesado de los datos

La recogida de datos se realiza, como se ha descrito, de forma inalámbrica. Cada sensor envía la información a un nodo central que, a su vez, se encarga de enviarla a un servidor central donde esta es filtrada y almacenada. El envío de la información se produce de forma inalámbrica entre los sensores y el nodo central y mediante la red de datos que esté disponible desde el nodo central a los servidores, bien por internet, GPRS o Satélite. De esta forma los datos están al alcance en tiempo real y no es preciso programar visitas de control para la descarga de información como sucedía con los antiguos *dataloggers*. Esto que hoy parece una obviedad, hace 10 años

supuso un avance importante, principalmente a efectos de la gestión de la obtención de la información.

Es importante señalar que esta información pasa a formar parte del corpus de conocimiento del edificio, de datos que es importante almacenar y conservar puesto que constituyen el histórico del comportamiento ambiental y estructural de un monumento.

Una vez almacenados se produce un primer procesado que nos permite obtener información donde los datos se filtran eliminando aquellos que no sean correctos, 105 % de humedad relativa, por ejemplo, y así se convierten en información que es mucho más fácil de analizar que la que se posee cuando se tienen los datos en bruto.

Análisis e interpretación de la información

Como se ha venido diciendo, los datos de humedad y temperatura o estructurales por sí mismos no significan nada. Es necesario aportar información que los contextualice y permita su interpretación para generar conocimiento. De otra forma, los datos son solo ruido; con inteligencia aplicada son conocimiento y el conocimiento puede ponerse al servicio de la conservación de los monumentos.

En lo relativo a cómo se aplica la inteligencia al dato es imprescindible sumar el conocimiento experto en materia de conservación, la bibliografía internacional y el análisis de diferentes series de datos. En este sentido las contribuciones de Stephan Michalski, IPCE, CSIC, y otros han sido fundamentales para poder determinar unos umbrales a partir de los que un elemento patrimonial puede considerarse “en riesgo”. Estos umbrales se refieren a valores absolutos y también a variaciones temporales de estos valores a unas velocidades determinadas.

Mediante el empleo de algoritmos especialmente diseñados para ello, podemos establecer indicadores sobre el estado de conservación de los bienes asociados a los puntos de control establecidos en la monitorización. Los indicadores proporcionan un valor numérico que permite diferenciar entre distintos estados de conservación de los elementos patrimoniales, determinando así una calificación según su estado como en buen estado, estado inadecuado o en riesgo de conservación.

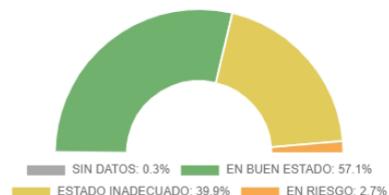
La generación de los indicadores se realiza a partir de una caracterización previa de los sensores, de los puntos de control y de los elementos patrimoniales. La caracterización se establece en base a la información disponible de los elementos, tendrá en cuenta la tipología de los bienes culturales, características físicas, su uso, espacio en el que se ubica y los ámbitos de control a tener en cuenta para la correcta conservación.

Este proceso finalmente genera estados de conservación por parámetro y en el bien, lo que resulta en un rápido y sencillo análisis mediante escalas de color: a mayor riesgo, colores más anaranjados, y colores verdes para estados adecuados de conservación.

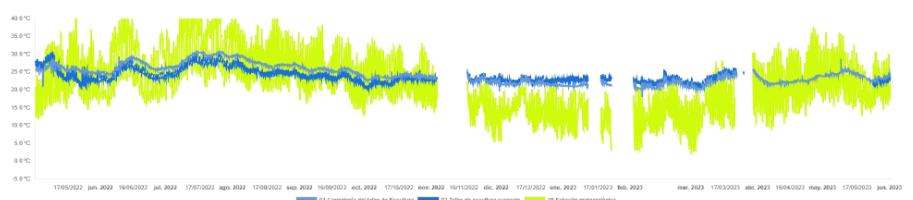
Representación de los resultados

En la actualidad, el consumo de información se ha multiplicado de manera exponencial debido a dos factores: cada vez se produce más información (redes sociales, dispositivos, etc.) y cada vez tenemos más capacidad de acceso a ella, especialmente a través de internet y de la web. La capacidad de sacar partido y entender la información bruta está íntimamente ligada a la de explotarla y transformarla en algo más: los datos adquieren un signifi-

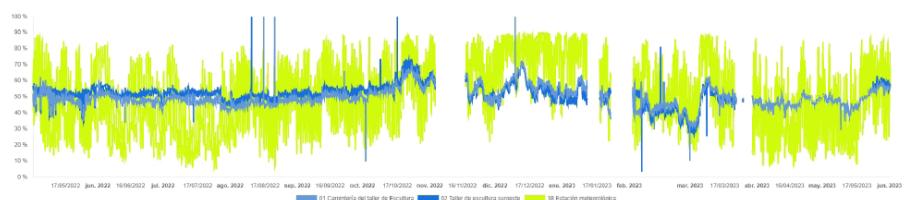
INDICADOR EDIFICIO



TEMPERATURA



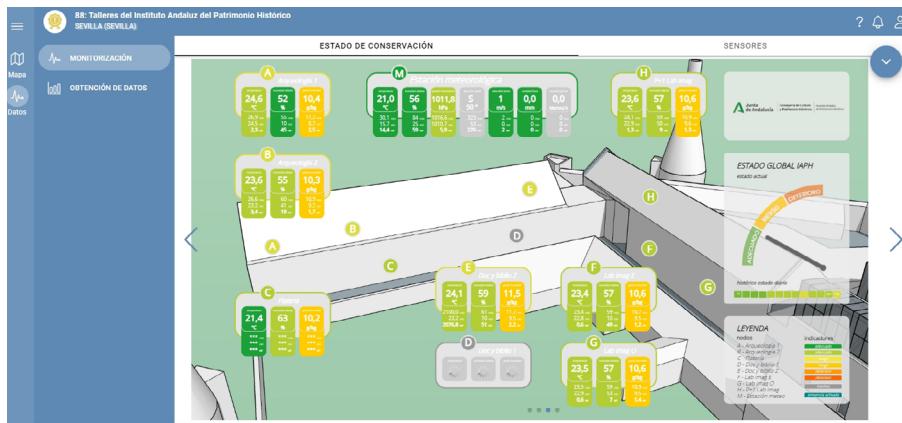
HUMEDAD RELATIVA



GRADO DE HUMEDAD



Visualización de información en panel de control de los talleres del IAPH



Visualización de información en panel de control de los talleres del IAPH

cado. Sin embargo, los datos entendidos como registros aislados no aportan un significado concreto.

La información recibida necesita ser presentada para ser interpretable y por tanto útil para la elaboración del diagnóstico.

Se pueden pasar horas delante de una tabla y no visualizar inmediatamente lo que es obvio al representarlo gráficamente. Para el usuario final, es mucho más sencillo interpretar la información de una tabla si se crea una gráfica de evolución. Lo que los números no pueden comunicar por sí solos se vuelve visible e inteligible cuando se representa visualmente. Este es el poder de la visualización de datos.

Es por ello que el proceso por el que los datos se transforman desde valores a conocimiento gracias al algoritmo deben ser mostrados de una forma que sea útil para los gestores, permitiendo analizar de forma intuitiva el estado de conservación y, una vez se detecten anomalías, patologías, o situaciones excepcionales, proceder a realizar un estudio pormenorizado para actuar de forma proporcional. En este sentido es muy necesario comprender que la importancia del proceso expuesto no reside en el desarrollo tecnológico en sí, sino más bien la posibilidad de otorgar a los gestores de patrimonio una herramienta que analice millones de datos para poder centrar esfuerzos en las situaciones de riesgo. Con todo ello el resultado es una gestión dirigida a optimizar los esfuerzos, actuar proporcionalmente a las necesidades y de forma anticipada.

DEL DIAGNÓSTICO A LA CONSERVACIÓN PREVENTIVA

Hasta este punto todo lo descrito puede emplearse de varias maneras. Una, en clave de diagnóstico, ante la necesidad de interpretar el origen de una lesión o conjunto de ellas para poder realizar una propuesta de actuación. Es información tratada de forma reactiva.

Comienza a no serlo si, en el caso de una restauración, el sistema de control se mantiene para verificar la corrección de las acciones realizadas. Esto resulta especialmente relevante en el caso de monitorizaciones estructurales donde tras la fase de diagnóstico, el control es importante durante la ejecución de las acciones propuestas y de suma importancia para la verificación de que las restauraciones ejecutadas han cumplido su objetivo principal.

Otra cuando una monitorización se planifica directamente en clave de conocimiento de la situación de un edificio y su comportamiento diario, para determinar su estado de conservación, por tanto, en clave de conservación preventiva.

Alarms y actuadores

La automatización de las alertas y el establecimiento de actuadores son acciones que vinculan directamente los datos con la conservación preventiva. Para ello, la determinación de los indicadores descritos en párrafos anteriores resulta clave para poder realizar estos procesos.



Panteón Real de la basílica de San Isidoro de León

El caso de la basílica de San Isidoro en León ha sido especialmente significativo. Es de sobra conocida la calidad de las pinturas murales del Panteón Real de la basílica. En este ámbito se iba a realizar una importante reforma de las instalaciones del museo, con la ejecución de demoliciones de parte del edificio adosado para mejorar la distribución y circulaciones. El temor de los promotores era que las vibraciones que se produjesen durante la demolición pudiesen afectar a la conservación de las pinturas murales.

Para controlar la ejecución de estas obras se diseñó un sistema de acelerómetros de gran sensibilidad que avisaban cuando los trabajos superaban unos umbrales de vibración predefinidos, con lo que el contratista de las obras podía adaptar los procesos para reducir las vibraciones y ajustarlas dentro de los rangos de normalidad.

Esto que se ha descrito en un párrafo requirió de un proceso complejo de diseño, implantación y puesta en servicio. Una vez definida la propuesta e implantado el equipamiento se realizó un período previo de medición para fijar el patrón de vibración normal del edificio durante un mes, y luego el ajuste de los umbrales iniciales determinados para que las alarmas salten cuando realmente se producía un evento por encima de lo normal. Se quería evitar también el efecto de saturación que produce en los usuarios el estar recibiendo constantemente avisos, a los que al final restan importancia o directamente ignoran.



Acelerómetro instalado para el control de vibraciones en las pinturas del Pantón Real



Detalle del mecanismo automático de control de apertura de la ventana. El mecanismo se oculta con una chapa de igual color que la carpintería logrando una integración completa

Este es un tipo de automatización que requiere de la intervención del usuario para corregir la anomalía detectada. Hay otros procesos automáticos que ayudan a la conservación del bien y que no precisan de la intervención del gestor.

Un ejemplo sería la automatización de las ventanas de la sacristía de la iglesia de San Martín de Castañeda en Galende, Zamora.

En este caso la monitorización revelaba la presencia de altos valores de humedad y temperatura, favorecidos también por la dificultad en la ventilación del espacio debido a la altura a la que se encuentran ubicadas las ventanas. Además de esto hay que indicar que la ventilación debe basarse en parámetros objetivos y no en percepciones individuales del usuario que suelen estar condicionadas por su propia experiencia. Por ejemplo, no es recomendable ventilar cuando la humedad es mayor en el exterior que en el interior porque el resultado será el contrario al esperado.

Por esta razón, la automatización de las ventanas es una herramienta de gran utilidad para la conservación. Con la combinación de la información exterior e interior se pueden establecer las reglas para que el actuador se active y abra o cierre la ventana en función de las necesidades de ventilación.

También es posible intervenir en los sistemas de climatización de manera que se combinen los algoritmos de confort para las personas, con los de conservación del edificio y de los bienes contenidos en su caso.

Análisis de grandes volúmenes de información

De lo visto hasta ahora, podemos afirmar que es innegable la utilidad y el conocimiento generado debido a la recopilación de información al servicio de la restauración. Sin embargo, debemos ir un paso más allá y considerar que esta información debe trascender el diagnóstico y ponerse al servicio del conocimiento en el sentido más amplio.

Como se ha dicho en este artículo la conservación preventiva es una estrategia que se basa en la identificación del riesgo para la puesta en marcha de acciones que los eviten, minimicen o eliminen. Por ello el conocimiento del comportamiento de los edificios de forma global resulta clave para la identificación de riesgos y anomalías, que pueden provenir de su propia materialidad o de influencias externas no previsibles.

En este sentido las series largas de datos nos brindan la oportunidad de disponer de información, parámetros de conservación, a lo largo de muchos años que mediante el adecuado estudio nos permitan identificar qué factores influyen en la adecuada conservación o si, ante una variación de las con-

diciones de contorno exteriores, las variaciones de comportamiento del bien son normales o son una anomalía que es preciso vigilar y controlar por ser indicador de posibles afecciones mayores. Estos desarrollos están aún por llegar, pero al ritmo que avanza el conocimiento en interpretación de la información damos por hecho que llegará al patrimonio más pronto que tarde y por ello es preciso estar ahí.

Por ejemplo, una línea de trabajo posible se basa en el análisis de correlaciones. En el mundo del dato hay otros procedimientos posibles que vienen a enriquecer el conocimiento útil que es posible generar para conseguir una mejor gestión de la conservación preventiva del patrimonio. Se puede desarrollar un análisis sostenido en los índices de correlación que permiten establecer, mediante procesos matemáticos, relaciones entre las variaciones que se producen en los parámetros para, así, identificar patrones de comportamiento asociados a cada edificio, pudiendo establecer distintos niveles de análisis: desde una aproximación de carácter generalista, hasta informes detallados atendiendo a un determinado espacio durante un periodo de tiempo específico. Además, la implantación territorial de esta tecnología facilita el análisis transversal y comparativo entre edificios similares, lo que conduce hacia una ampliación del conocimiento disponible y, en función de los resultados, permite realizar extrapolaciones (Tena et ál. 2022).

Otra posibilidad es utilizar esta información para la generación de informes predictivos que ayuden al gestor en la toma de decisiones. En este sentido, por ejemplo, resulta de vital importancia incorporar la información de gestión económica a la conservación preventiva y específicamente al mantenimiento para poder planificar las inversiones necesarias para garantizar la pervivencia del bien.

CONCLUSIONES

La principal conclusión es que la tecnología ha permitido en primera instancia diagnosticar y posteriormente generar conocimiento científico a partir de cantidades ingentes de información, siendo esta fiable y exacta. Para hacer útil este paso adelante es necesario aplicar algoritmos que evalúen la información desde la perspectiva de estados de conservación para obtener estados de riesgo que contribuyan a implantar una estrategia de conservación preventiva eficaz. Una vez obtenidos, el gestor patrimonial puede actuar según ellos, e incluso en un futuro no muy lejano la inclusión de IA permitirá afinar y mejorar el algoritmo de análisis. Lo que es aún más interesante, podrá realizar predicciones de estado de conservación y de los recursos necesarios para su correcta conservación de una forma sostenible y proporcional, evitando grandes intervenciones en el patrimonio, en acciones planificadas, sostenidas en el tiempo, sostenibles socialmente y, quién sabe, si también ejecutadas con IA.

BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2014) *Manual de seguimiento y análisis de condiciones ambientales*. Madrid: Secretaría General Técnica. Disponible en: <https://www.culturaydeporte.gob.es/planes-nacionales/dam/jcr:3312b805-4c20-46b6-a897-71cead432bf7/manual-condiciones-amb-2018.pdf> [Consulta: 04/07/2023]
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2018) *Plan Nacional de Conservación Preventiva*. Disponible en: <https://www.culturaydeporte.gob.es/planes-nacionales/dam/jcr:4b382d56-75b5-4d6c-870f-e02901adfdb3/cp-fundamentos-2018b.pdf> [Consulta: 04/07/2023]
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2017) Conservación preventiva: revisión de una disciplina. *Revista Patrimonio Cultural de España*, n.º 7. Disponible en: <https://www.culturaydeporte.gob.es/planes-nacionales/dam/jcr:26a66336-4e0c-4adc-b4d8-f2a89dde4998/conservacion-preventiva-revision-de-una-disciplina.pdf> [Consulta: 04/07/2023]
- Tena Marín, M., García Álvarez, J., Basulto García Risco, D. y García, J.C. (2022) Hacia una gestión digital y eficiente de las catedrales. En: Barriocanal Gómez, J.L., Del Cura Elena, S., Payo Hernanz, R.J. y Izquierdo Yusta, C. (ed.) *El mundo de las catedrales [Recurso electrónico]: pasado, presente y futuro*. Burgos: Fundación VIII Centenario de la Catedral, pp. 1551-1561. Disponible en: <https://catedrapatrimonioibu.com/wp-content/uploads/2022/11/CONGRESO-CATEDRALES.pdf> [Consulta: 19/07/2023]