

Digitalización del patrimonio cultural: cuestiones conceptuales, aportes de la investigación y prácticas de aplicación

Xiao Jianli, BAI Zhicheng, MU Xingyu

Resumen

Con el rápido desarrollo de la tecnología digital, la digitalización del patrimonio se ha convertido en un enfoque transformador para su protección, transmisión e innovación. Este artículo analiza los orígenes conceptuales de esta práctica, basándose en las cartas de la UNESCO, y explica su definición y alcance, destacando la importancia de la tecnología digital para la salvaguardia del patrimonio cultural. A continuación, el artículo analiza el proceso de desarrollo de la digitalización del patrimonio, desde su origen hasta su expansión, destacando la aplicación cada vez más sofisticada de las tecnologías digitales en la conservación del patrimonio. Se describen los métodos técnicos empleados en esta digitalización y se examinan sus aplicaciones en la documentación, protección y exhibición del patrimonio. Se proponen nuevas perspectivas sobre la investigación en la digitalización del patrimonio, entre ellas la transformación impulsada por la tecnología de los sistemas tradicionales europeos de protección del patrimonio, una reevaluación crítica de la autenticidad y la integridad en el proceso de digitalización, y el análisis de las dimensiones sociales asociadas a esta práctica. A través de estudios de caso, el artículo demuestra el valor significativo de la digitalización del patrimonio tanto en contextos internacionales como en el contexto chino. Sostiene que la digitalización del patrimonio no es simplemente una aplicación de la tecnología, sino también una re conceptualización de la protección del patrimonio cultural, lo que abre mayores oportunidades para la participación social. Ofrece nuevas perspectivas y estrategias para el desarrollo sostenible del patrimonio cultural.

Palabras clave: protección digital; tecnología digital; desarrollo de plataformas digitales; gestión del patrimonio; práctica y enseñanza

En octubre de 2017, el informe del XIX Congreso Nacional del Partido Comunista de China incorporó por primera vez el concepto de «China Digital» en el documento programático del Partido, marcando así una nueva etapa en la construcción de esta nación digital. Con la llegada de la era digital, el rápido avance de las tecnologías digitales ha generado oportunidades sin precedentes para la protección, la preservación y la innovación del patrimonio cultural. El patrimonio cultural, como testimonio de la historia humana y cristalización de la sabiduría humana, posee ricas connotaciones culturales y un gran valor histórico. No obstante, los métodos tradicionales de conservación enfrentan numerosas limitaciones, como el envejecimiento natural y la deterioración del patrimonio cultural tangible, así como la disminución del número de herederos del patrimonio cultural inmaterial. En este contexto, ha surgido la digitalización del patrimonio, que ofrece nuevas vías para su protección y transmisión.

En 2022, durante las actividades conmemorativas que celebraban el 50º aniversario de la Convención sobre la Protección del Patrimonio Cultural y Natural Mundial, bajo el tema «Los próximos 50 años: el patrimonio mundial como fuente de resiliencia, humanidad e innovación», la transformación digital se identificó como una de las cinco áreas clave para la investigación y el debate.

Por lo tanto, comprender el estado actual de la investigación y el desarrollo en materia de digitalización del patrimonio y analizar su valor significativo así como sus vías prácticas para el desarrollo urbano y rural contemporáneo se ha convertido en un tema de investigación urgente. Este esfuerzo desempeñará un papel positivo en la promoción de la protección, la transmisión y el desarrollo sostenible del patrimonio histórico y cultural en la era digital.

En los últimos años, la tecnología digital ha desempeñado un papel cada vez más importante en la investigación del patrimonio. Por un lado, limitarse a registrar el entorno físico del patrimonio ya no puede satisfacer las exigencias de la protección y gestión contemporáneas. Depender exclusivamente de la conservación de los restos físicos no permite alcanzar plenamente la valorización integral de los valores del patrimonio cultural, lo que dificulta la transmisión cultural y el desarrollo sostenible del mismo. Por otro lado, el cambio climático, las emisiones de gases de efecto invernadero, los desastres naturales y la destrucción provocada por la actividad humana han agravado los desafíos de la protección del patrimonio. La complejidad del patrimonio impone requisitos más elevados a las prácticas de investigación y gestión, lo que convierte la digitalización en una tendencia y un campo fundamental en la investigación y la práctica contemporáneas del patrimonio. El desarrollo de las tecnologías digitales ha proporcionado nuevas soluciones para la protección del patrimonio cultural.

1 Concepto y manifestaciones de la digitalización del patrimonio

1.1 Orígenes conceptuales de la digitalización del patrimonio

La investigación y el debate sobre la digitalización del patrimonio en el ámbito internacional de la conservación del patrimonio tienen una larga historia. Ya el 15 de octubre de 2003, la UNESCO aprobó la Carta sobre la Preservación del Patrimonio Digital, en la que se establece la necesidad de preservar y mantener «recursos de información cultural, educativa, científica y administrativa, ya sean generados digitalmente o derivados de recursos analógicos existentes, así como información en los campos técnico, jurídico, médico y otros»[1], ampliando así el concepto y las formas del patrimonio.

La digitalización del patrimonio consiste en el uso de técnicas de levantamiento topográfico, visualización y tecnologías informáticas para generar o convertir información digital sobre dicho patrimonio con el fin de facilitar su protección, gestión y exhibición, incluyendo todas las formas de captura de datos digitales: desde fotografía, corrección de imágenes y fotogrametría hasta escaneo láser tridimensional y grabación de sonido [2]. En resumen,

se trata del proceso de utilizar la tecnología digital para preservar, procesar y difundir el contenido tangible e intangible del patrimonio cultural en formato digital. Este proceso incluye no solo el escaneo 3D, el archivo digital y la exhibición virtual de bienes culturales tangibles como artefactos, arquitectura y libros, sino también la grabación, la difusión digital y la transmisión innovadora del patrimonio cultural intangible, como las artesanías tradicionales, los costumbres y las historias orales. La digitalización del patrimonio es un proceso dinámico.

El patrimonio cultural digital se refiere al patrimonio cultural que existe en forma digital, incluyendo documentos convertidos a formatos digitales a partir de materiales existentes, así como materiales nacidos digitalmente. Estos activos del patrimonio cultural digital pueden adoptar la forma de texto, imágenes, audio, vídeo, bases de datos, software y otros formatos. El patrimonio cultural digital se centra en el contenido del patrimonio cultural que ya ha sido digitalizado; se trata de un resultado estático.

1.2 Manifestaciones digitales del patrimonio

Según la Carta para la Preservación del Patrimonio Digital, el patrimonio digital «incluye texto, bases de datos, imágenes fijas y en movimiento, audio y gráficos, software y páginas web, entre otros». En 2006, el Simposio sobre «Hacer transparentes los resultados de la investigación visual en 3D», organizado por el King's College de Londres, adoptó la Carta de Londres para la visualización informática del patrimonio cultural (en lo sucesivo denominada Carta de Londres). Esta carta estableció principios para la representación digital del patrimonio cultural^①, y su borrador de versión 2.1 dispone que «los materiales de registro publicados deben utilizar los medios más eficaces disponibles, incluidas imágenes, texto, vídeo, audio, formatos digitales o combinaciones de estos»[3–4].

2 Desarrollo de la digitalización del patrimonio cultural

2.1 Aparición de la digitalización del patrimonio (1960-1990)

Los países de Europa y América del Norte ya habían comenzado a digitalizar documentos y colecciones archivísticas desde la década de 1960, utilizando técnicas como la fotografía, la grabación de vídeo y la reproducción. Las bases de datos resultantes se destinaban inicialmente únicamente a fines internos y fueron abriendo progresivamente al público con la aparición de Internet. En la década de 1990, la tecnología 3D y la tecnología de realidad virtual también comenzaron a desarrollarse y se aplicaron gradualmente en la investigación sobre la conservación del patrimonio, marcando el inicio de la era digital en esta área.

2.2 Desarrollo de la digitalización del patrimonio (1992–2019)

El año 1992 se considera generalmente el año inaugural de la investigación sobre el patrimonio digital. La UNESCO lanzó el programa «Memoria del Mundo», cuyo objetivo es utilizar las tecnologías de la información modernas y los medios digitales para cumplir con la tarea de proteger el patrimonio cultural mundial según lo establecido en su Constitución, sensibilizar sobre la importancia de nuevas formas de patrimonio documental — como las grabaciones auditivas, las obras cinematográficas y televisivas y los medios digitales — y promover la conservación y difusión de estos recursos a nivel mundial. Ese mismo año, Angkor Wat en Camboya fue incluido en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO, y se adoptó una serie de medidas técnicas digitales que emplean sistemas de gestión de información asistidos por ordenador para su conservación[5].

2.2.1 Recopilación y registro de la digitalización del patrimonio

Las primeras aplicaciones de la investigación sobre la digitalización del patrimonio fueron relativamente sencillas, centradas principalmente en la recopilación y el registro del patrimonio cultural en formato digital. En 1998, el «Proyecto Digital de Miguel Ángel», una colaboración entre la Universidad de Stanford y la Universidad de Washington, utilizó escáneres láser y cámaras digitales para escanear y fotografiar las esculturas y obras arquitectónicas de Miguel Ángel con el fin de digitalizarlas.

El papel de la tecnología de teledetección en la conservación del patrimonio cultural a gran escala también ha impulsado la aplicación generalizada de la fotogrametría, especialmente para registrar bienes patrimoniales inmuebles como estructuras monumentales y sitios arqueológicos de gran envergadura. El Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS) y la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección (ISPRS) fundaron conjuntamente el Comité Internacional de Fotogrametría Arquitectónica (CIPA) en 1968. Dado el traslado de tecnologías relevantes desde las ciencias topográficas hacia la disciplina de la documentación y registro del patrimonio, en 2007 fue rebautizado oficialmente como CIPA Heritage Documentation con el objetivo de aplicar tecnologías de topografía, visualización y informática al registro, conservación y documentación del patrimonio cultural^②.

2.2.2 Restauración y exhibición del patrimonio

Con el desarrollo de las tecnologías de Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (RA), ambas se han aplicado ampliamente en la investigación sobre la conservación del patrimonio, incluyendo, entre otras cosas, la restauración y exhibición del patrimonio cultural desaparecido, así como la reconstrucción de las conexiones entre dicho patrimonio y sus contextos históricos, culturales y ambientales originales. Japón utilizó escáneres 3D para crear un modelo virtual del Gran Buda de Kamakura, tallado en el siglo XIII, y empleó tecnología de realidad virtual para reconstruir la sala principal de Kotoku-in, que fue destruida durante el terremoto de Meio en 1498. Mientras tanto, gracias a su capacidad para ofrecer a los usuarios una sensación más profunda de implicación y realismo, las tecnologías de realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR) comenzaron a aplicarse a gran escala en entornos de exposiciones, visitas turísticas y experiencias interactivas, pasando de usos internos en

investigación y restauración a aplicaciones destinadas al público general en exhibiciones y actividades educativas. Durante esta etapa, la digitalización del patrimonio comenzó a enfatizar la promoción y difusión de información sobre este patrimonio, y la aplicación de las tecnologías digitales se orientó cada vez más hacia experiencias interactivas para usuarios y visitantes. Por ejemplo, el proyecto «Eternal Egypt» de IBM (2001–2004) y el proyecto «Sulman Mummy» de la Universidad de Chicago presentaron ambos el patrimonio a través de museos digitales en línea en Internet[6].

2.3 Ampliación de la digitalización del patrimonio (2020–hoy en día)

La pandemia de COVID-19 impulsó a países de todo el mundo a acelerar el desarrollo de la digitalización del patrimonio cultural, poniendo de manifiesto su importancia para superar las limitaciones impuestas por los confinamientos. Por ejemplo, la Agencia Japonesa de Asuntos Culturales ha seguido acelerando el desarrollo del sitio web «Patrimonio Cultural en Línea» desde 2020, incorporando información electrónica sobre los bienes patrimoniales culturales designados, seleccionados y registrados a nivel nacional. A noviembre de 2022, se habían registrado datos (incluidas imágenes, vídeos y materiales textuales) procedentes de 1.045 agencias de gestión de sitios del Patrimonio Mundial, museos y galerías de arte; además, la información sobre 273.687 elementos del patrimonio cultural era accesible y visible al público③.

En 2021, «El efecto transformador de la tecnología de la información» se convirtió en el primer tema de los doce temas de la iniciativa global «Nuestro Patrimonio Mundial», y la protección digital del patrimonio mundial pasó gradualmente a ser un campo independiente. En 2023, el Comité Científico Internacional sobre Patrimonio Digital celebró su 29ª Conferencia Binalónica Mundial en Roma, donde se identificaron varias nuevas tendencias en la protección del patrimonio digital, como la captura digital ligera, la visualización de la gestión de datos, la reconstrucción inteligente de datos y la interacción remota colaborativa [7]. La digitalización del patrimonio ha entrado en una fase de expansión multidimensional, cada vez más profunda e inteligente (véase la Fig. 1).



Línea temporal del desarrollo de la digitalización del patrimonio

Fig. 1 Línea temporal del desarrollo de la digitalización del patrimonio[8]

2.4 Tecnologías de digitalización del patrimonio

La tecnología de digitalización del patrimonio ha evolucionado desde el escaneo 2D sencillo hasta la modelización 3D compleja y, posteriormente, hacia enfoques inteligentes asistidos por grandes modelos. Actualmente, las tecnologías de digitalización más utilizadas incluyen: ① la tecnología de escaneo láser 3D, que permite obtener datos tridimensionales precisos del patrimonio mediante escaneo láser para su reconstrucción y archivo; ② la fotogrametría y la teledetección, que emplean imágenes aéreas o satelitales para el monitoreo y la gestión a gran escala del patrimonio; y ③ la tecnología de realidad virtual (RV) y realidad aumentada (RA), que ofrece experiencias inmersivas a través de entornos reales simulados y mejorados. capaz de recrear tradiciones desaparecidas para interpretar mejor el patrimonio y facilitar su comprensión por parte del público. ④ Tecnología de gemelo digital: creación de réplicas digitales del patrimonio para su monitoreo y evaluación en tiempo real. ⑤ Tecnología de interacción móvil: herramientas de interacción móvil y medios digitales que permiten una difusión más amplia entre el público y fomentan la expresión del público. ⑥ Tecnología de inteligencia artificial: modelos grandes de IA que pueden asistir de manera integral a la gestión y la investigación del patrimonio. posibilitando una protección y planificación inteligentes del patrimonio.

3 Cuestiones de investigación y perspectivas sobre la digitalización del patrimonio cultural

3.1 Tendencias y temas de investigación

Una búsqueda en la base de datos CNKI (Infraestructura Nacional de Conocimiento de China) utilizando «digitalización del patrimonio» como palabra clave arrojó un total de 1.451 publicaciones. El análisis de visualización bibliométrica arrojó los siguientes resultados:

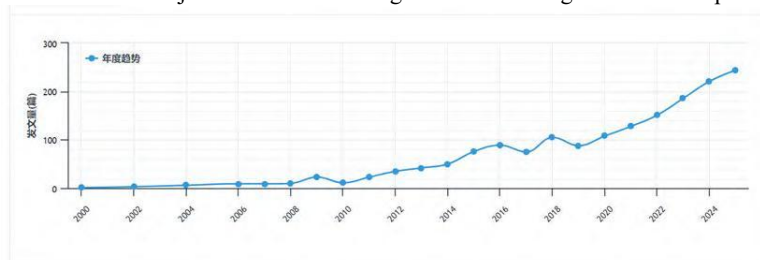
El número de publicaciones sobre la digitalización del patrimonio ha aumentado anualmente desde 2000, con un fuerte impulso a partir de 2010, lo que indica que la investigación en este campo se multiplicó tras dicho año, estrechamente relacionada con la innovación de los medios técnicos impulsada por el surgimiento de la tecnología de escaneo láser en 2011. Otro período de alto crecimiento se registró después de 2020, provocado por el desarrollo de la tecnología de realidad virtual. En 2023, el Comité Científico Internacional sobre Patrimonio Digital celebró su 29ª Conferencia Bienal Mundial en Roma, donde se identificaron varias tendencias destacadas en la protección del patrimonio digital: la captura digital ligera, la visualización de la gestión de datos, la reconstrucción inteligente de datos y la interacción remota colaborativa, lo que desató una nueva ola de investigación sobre la digitalización del patrimonio. (Véase la Fig. 2.)



Número de publicaciones sobre la digitalización del patrimonio

Fig. 2 Número de publicaciones sobre la digitalización del patrimonio

En cuanto a los temas de investigación, el patrimonio cultural inmaterial, la tecnología digital, la protección digital, la conservación y la transmisión, así como la difusión digital se han convertido en palabras clave destacadas. La digitalización del patrimonio cultural inmaterial, que requiere tecnologías digitales relativamente sencillas, constituyó el primer tema de investigación en este ámbito. La tecnología digital, como factor decisivo en los métodos de protección del patrimonio, ha permanecido un tema de investigación constante, y la protección digital se ha convertido en un tema frecuentemente discutido. La conservación y transmisión del patrimonio constituyen el objetivo principal de esta forma de protección basada en la tecnología digital, y se han convertido en uno de los temas más debatidos. En los últimos años, la exhibición y promoción del patrimonio han recibido una atención sin precedentes, fomentando la participación del público y el intercambio de valores patrimoniales, y se han convertido en un eje central de la investigación sobre la digitalización del patrimonio. (Véase la Fig. 3.)



Distribución de los temas literarios en la digitalización del patrimonio

Fig. 3 Distribución de los temas de la literatura sobre la digitalización del patrimonio

3.2 Nuevas perspectivas derivadas de la investigación sobre la digitalización del patrimonio cultural

A partir de un resumen de los principales temas y áreas de investigación mencionados, se pueden identificar nuevas perspectivas derivadas de la digitalización del patrimonio para su protección.

3.2.1 Una nueva perspectiva: la transformación impulsada por la tecnología del sistema tradicional europeo de protección del patrimonio

La tecnología digital ha ampliado los métodos para la grabación, el archivo y la gestión del patrimonio, generando al mismo tiempo nuevas perspectivas para su protección y investigación. Basándose en los principios de autenticidad establecidos en la Carta Internacional para la Conservación y Restauración de Monumentos y Sitios (1964) y en los Principios para el Registro de Monumentos, Grupos de Edificios y Sitios (1996) en el ámbito de la conservación y restauración del patrimonio, la investigación temprana sobre la digitalización del patrimonio se centró principalmente en el registro del patrimonio y en la recopilación de información sobre los sitios, elementos fundamentales de esta disciplina. Al aprovechar los avances tecnológicos digitales de museos, archivos y otras instituciones, se está desarrollando sistemáticamente una metodología análoga al sistema europeo tradicional de protección del patrimonio como base para la conservación digital, lo que impulsa la estandarización de los procesos de conservación y restauración del patrimonio [9].

En 2007, el Instituto de Conservación Getty (Estados Unidos) y sus socios publicaron *Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places*, un trabajo compuesto por dos volúmenes: *Guiding Principles* y *Illustrated Examples*. Esta obra sentó las bases para comprender, planificar e implementar proyectos de registro e información patrimonial, mejorando significativamente la capacidad de los profesionales del patrimonio en la recopilación, el procesamiento y la gestión de información [2, 10]. En 2008, Martha Demas propuso métodos de trabajo específicos para la protección del patrimonio digital y cuatro principios

fundamentales para la grabación digital básica de los sitios patrimoniales[11]. La determinación de registros base tiene como objetivo estandarizar las labores de conservación de estos sitios, ya sea a nivel preliminar o detallado. Además, esta base puede servir como punto de partida para el diseño e implementación de programas de monitoreo, lo que permite detectar los cambios que afectan la evaluación del valor de los sitios patrimoniales.

3.2.2 Un nuevo concepto: Reconsiderar la autenticidad y la integridad en el proceso de digitalización

La investigación contemporánea sobre el patrimonio, que incorpora amplias aplicaciones de tecnologías digitales, se centra principalmente en registrar y simular el entorno físico del patrimonio: por ejemplo, utilizando tecnologías de teledetección e imágenes para documentar el estado actual del patrimonio y su entorno circundante [12–14]; empleando la realidad virtual para representar los elementos materiales del patrimonio [15–17]; desarrollando modelos digitales y restauraciones virtuales; y creando bases de datos sobre el patrimonio a partir de información recopilada [18–19].y utilizando tecnologías de realidad aumentada y de videojuegos para la investigación sobre la visualización del patrimonio y el intercambio de resultados de investigación [20].

Las cuestiones de autenticidad e integridad en el proceso de digitalización, así como la forma de equilibrar la innovación tecnológica con la protección del patrimonio cultural, constituyen temas centrales de investigación actuales que han motivado una profunda reflexión en el ámbito.

3.2.3 Una nueva dirección: Explorar las dimensiones sociales de la digitalización del patrimonio

Las dimensiones sociales de la digitalización del patrimonio implican principalmente explorar la arquitectura fundamental de los archivos digitales de patrimonio, buscar modelos óptimos para ofrecer recursos informativos, investigar protocolos de interoperabilidad entre bibliotecas digitales, evaluar las interfaces de usuario más eficaces y abordar el desafío técnico de recuperar de forma eficiente la información deseada desde la vasta cantidad de contenidos disponibles en Internet, y promover una operación más viable desde el punto de vista económico de los archivos de patrimonio digital y de los sistemas de gestión para la protección de la propiedad intelectual. La investigación sobre las dimensiones sociales de la digitalización del patrimonio no se limita al ámbito en línea; tiene como objetivo almacenar, gestionar y hacer accesibles de manera eficaz las enormes cantidades de información distribuidas en diferentes ubicaciones geográficas y categorías, logrando así un alto grado de intercambio de recursos y un impacto social positivo.

Los Estados miembros de la Unión Europea, como Austria y Alemania, han explorado y establecido de manera continua sistemas integrales de patrimonio digital, dotados de instituciones responsables designadas y con apoyo financiero para impulsar la digitalización de diversos tipos de patrimonio. Frente a un volumen enorme de activos patrimoniales, los países de la UE se enfrentan a una tarea compleja de digitalización y han avanzado progresivamente a través de sucesivas rondas de programas de proyectos iterativos durante aproximadamente los últimos 30 años. Las plataformas compuestas por gobiernos, administradores y profesionales fomentan el intercambio público y la participación ciudadana; además, el uso de dispositivos móviles maximiza el objetivo de un acceso universal a la digitalización cultural, contribuyendo así a promover la integración europea y a fortalecer el sentido de pertenencia entre los ciudadanos de la UE.

El proyecto «Visualising Ballarat» en la ciudad de Ballarat, Australia, es un ejemplo exitoso de una plataforma de investigación para la digitalización y el intercambio del patrimonio cultural[21, 24]④.

4 Prácticas de aplicación y el valor positivo de la digitalización en la protección y utilización del patrimonio

4.1 Registro del patrimonio sostenible: tecnologías de grabación digital que crean plataformas abiertas y compartidas

El registro requiere capturar con precisión las características físicas que definen el valor y los elementos esenciales del patrimonio. Su objetivo principal es registrar, representar y transmitir de manera científica y eficaz las características y valores del patrimonio. Por lo tanto, identificar dichas características constituye la base para abordar cualquier trabajo de registro. Todos los elementos, tanto naturales como artificiales, deben documentarse mediante métodos y herramientas multifuncionales y altamente flexibles, a fin de garantizar la completitud de los registros[21].

Los métodos tradicionales de topografía son laboriosos y requieren mucho tiempo, con ciclos prolongados de recopilación y procesamiento de datos, lo que dificulta la actualización periódica de esta información. Las nuevas tecnologías digitales han revolucionado la velocidad y la exhaustividad del registro de los sitios patrimoniales: las técnicas modernas de registro, como el teledetección, el escaneo y la imagen por computadora, han innovado los métodos de obtención de información espacial sobre el patrimonio, permitiéndonos observarlo desde perspectivas sin precedentes y con una precisión sin igual, lo que ha generado avances revolucionarios en la completitud, la exactitud y la eficiencia de la recopilación de datos espaciales [22]. Estos registros pueden guiar a los responsables de los sitios, a los investigadores y a los funcionarios gubernamentales de distintos niveles en sus procesos de toma de decisiones, y transmitir el conocimiento histórico y los valores del patrimonio[23].

Gracias a las tecnologías de grabación digital, la documentación del patrimonio se convertirá en un proceso continuo que ofrece un seguimiento dinámico y un apoyo constante para su gestión. El intercambio abierto es una característica fundamental de esta forma de registro: los registros del patrimonio ya no están limitados por el tiempo, el lugar, la cultura ni el formato. Aunque tienen un carácter cultural específico, pueden ser utilizados por cualquier persona en todo el mundo. Los resultados de las grabaciones se comparten a través de diversas plataformas, convirtiéndose en espacios para el intercambio y la aprendizaje entre expertos en protección del patrimonio y el público general; ofrecen una rica experiencia práctica y materiales de referencia para la

investigación, restauración, desarrollo y utilización del patrimonio, y fomentan el reconocimiento, la protección y la difusión de sus múltiples valores.

4.2 Identificación inteligente del patrimonio: tecnologías de protección digital que previenen daños en el patrimonio vulnerable

En el ámbito de la conservación del patrimonio, los objetos que pueden procesarse digitalmente se dividen en dos categorías: una comprende diversos tipos de datos analíticos indirectos obtenidos mediante el análisis del propio patrimonio o de sus datos; la otra incluye datos extendidos, como modelos digitales e imágenes de realidad virtual generados mediante visualización digital, restauración digital u otros métodos.

Los sitios patrimoniales suelen enfrentar amenazas desde múltiples fuentes. La interferencia humana excesiva ha dejado a muchos importantes sitios y monumentos del Patrimonio Mundial sin una protección adecuada, mientras que los cambios ambientales, los desastres naturales y otras amenazas han aumentado la urgencia de implementar medidas de protección digital. La digitalización ofrece un medio preciso y seguro para proteger y estudiar el patrimonio: una vez recopilada la información digital de un sitio, es posible realizar investigaciones de forma remota, incluso lejos del mismo. La recopilación de información digital es tanto precisa como conveniente, y la investigación fuera del sitio representa el enfoque más seguro para el patrimonio frágil. Además, dado que el patrimonio puede constituir un componente esencial del entorno construido sostenible, son necesarias inspecciones regulares de las estructuras de reliquias culturales durante su conservación. Se pueden emplear tecnologías de detección automática de defectos basadas en inteligencia artificial para desarrollar sistemas automatizados de inspección visual.

La conservación y protección permanentes de las grutas, los murales y otros patrimonios similares representa un desafío importante para la comunidad internacional del patrimonio cultural. La digitalización ayuda a contrarrestar el deterioro natural provocado por factores como la oxidación, la corrosión, el envejecimiento y el desprendimiento de capas debido a una interferencia humana excesiva. La Academia de Dunhuang (Instituto de Investigación de Dunhuang) comenzó a explorar la protección digital ya en 1993 [25–26].

4.3 Conservación sostenible del patrimonio: tecnologías de archivo digital que facilitan una restauración fiable del patrimonio

El objetivo de la digitalización del patrimonio es crear registros que puedan preservarse de manera permanente tanto como sea posible, garantizando que la información sobre el patrimonio pueda transmitirse de generación en generación y que se mantenga la continuidad incluso cuando sus valores e integridad estén comprometidos. Por lo tanto, el uso de medios digitales para archivar de manera sistemática las entidades patrimoniales registradas, diversos materiales y otra información relacionada —estableciendo archivos científicos del patrimonio mediante una serie de procedimientos estandarizados de recopilación, procesamiento, almacenamiento y presentación— puede apoyar los esfuerzos de conservación, restauración, desarrollo y utilización. Estos resultados constituyen la información fundamental para la protección del patrimonio, es decir, la información empleada para su mantenimiento activo. Con el paso del tiempo, cuando los sitios patrimoniales sufren desastres repentinos, erosión natural o destrucción humana, los datos generados mediante grabaciones digitales se convierten en la única fuente para obtener información sobre ellos. Un archivo digital riguroso, que organiza sistemáticamente toda la información relacionada con el patrimonio, puede constituir el medio principal para que académicos y el público comprendan un lugar que ha sufrido cambios fundamentales o que ha desaparecido [21]. Es una herramienta fundamental en la carrera contra el tiempo: evita que el patrimonio cultural sea completamente borrado de la memoria humana y garantiza que las generaciones futuras dispongan de registros fácilmente comprensibles.

En 2019, el incendio en la Catedral de Notre-Dame de París causó daños significativos al patrimonio histórico. El extenso trabajo digital realizado previamente al incendio se convirtió en una referencia inestimable para la posterior restauración. En diciembre de 2024, la catedral fue restaurada con éxito y reabierta al público, recibiendo evaluaciones positivas tanto por parte de expertos como del público^⑤.

4.4 Creación de modelos digitales y bases de datos patrimoniales: tecnologías de gestión de información digital que apoyan a los profesionales en la gestión del patrimonio

La información patrimonial constituye una actividad integral que incluye el registro, el archivo y la gestión de datos. La integración de la información también representa un desafío en el registro del patrimonio: los datos fragmentados deben transformarse en conocimientos que respalden la toma de decisiones relacionadas con este patrimonio, mejorando así la eficiencia en su utilización y reflejando de manera más profunda sus valores [27]. Por lo tanto, la gestión de la información —la identificación, clasificación, almacenamiento y compartición de datos sobre el patrimonio para su uso actual o futuro— desempeña un papel fundamental.

La aplicación integrada del gemelo digital, el HBIM (Modelado Histórico de Información de Edificios), el WebGIS y otras tecnologías permite la recopilación e integración de información sobre el patrimonio para crear modelos digitales y bases de datos dedicadas al patrimonio. Se emplean métodos de análisis digital exhaustivos para la identificación de características digitales, lo que permite una evaluación completa de la autenticidad e integridad de los sitios patrimoniales. La maduración gradual de los sistemas de información geográfica 3D, el procesamiento geoespacial inteligente y las tecnologías de aprendizaje automático ha mejorado significativamente la eficiencia y precisión en la identificación de características y elementos del patrimonio, proporcionando una plataforma de datos insustituible para la gestión de la información sobre el patrimonio del paisaje.

cultural[19].Aplicar las más recientes estrategias de captura de realidad y documentación espacial para registrar el patrimonio, los entornos circundantes y otros objetos en todo el mundo, así como crear herramientas digitales de aprendizaje y colecciones bibliográficas basadas en estos datos, puede facilitar la elaboración de estrategias de planificación para la conservación del patrimonio, la investigación, la educación y el turismo.Mediante enfoques técnicos híbridos y manteniendo la soberanía digital correspondiente, las soluciones individuales de almacenamiento se integran en distintos productos en la nube; los servicios y herramientas de trabajo pueden accederse o controlarse a través de Internet, y un enfoque heterogéneo sobre la soberanía de los datos puede apoyar los procesos de interpretación de derechos de autor, derechos de uso y protección de la propiedad intelectual en el desarrollo digital.

Como infraestructura intangible, los datos digitales se han convertido en un componente esencial para la protección del patrimonio cultural. La grabación, la evaluación, el seguimiento, el análisis, la planificación y las intervenciones requieren todos datos digitales. La naturaleza integradora de la grabación implica que todos los datos del patrimonio deben organizarse, almacenarse y gestionarse en forma de bases de datos.La unificación de las estructuras de datos, la estandarización de los formatos y la normalización del uso de los datos mejorarán significativamente la eficiencia en la utilización de la información patrimonial[19]. La gestión digital de la información puede satisfacer la amplia demanda existente en el ámbito internacional del patrimonio por sistemas de registro digital de bajo costo. Los sistemas de registro del patrimonio deben ser tanto fáciles de utilizar como personalizables, y al mismo tiempo aprovechar las tecnologías más avanzadas para crear y gestionar información patrimonial rica y diversa.

El Instituto de Conservación Getty (Estados Unidos) y el Fondo Mundial de Monumentos desarrollaron conjuntamente en 2013 Arches, una plataforma de software de código abierto para la gestión de datos del patrimonio cultural, destinada a ayudar a científicos especializados en conservación, profesionales del patrimonio y instituciones dedicadas al patrimonio en el registro, levantamiento y administración de diversos tipos de recursos patrimoniales, así como en la protección segura, recuperación, visualización, comparación y compartición de datos científicos sobre el patrimonio.

4.5 Mejora tecnológica de la exhibición e interpretación del patrimonio: tecnologías digitales de educación y difusión que innovan los formatos de presentación del patrimonio

Tras casi tres décadas de desarrollo, todos los sectores de la sociedad han puesto mayor énfasis en el patrimonio cultural, y la digitalización del patrimonio ha avanzado rápidamente. En particular, en cuanto a los métodos de exhibición, la proliferación de tecnologías como el modelado 3D, la visualización, la realidad virtual, la realidad aumentada y otras, junto con el surgimiento de la reproducción de mapas estereoscópicos, ha dado lugar a herramientas de presentación multimedia diversificadas e interactivas.Estos han introducido nuevos formatos de visualización y presentación para la difusión de información sobre sitios patrimoniales.

Mediante la realidad virtual, el modelado 3D, la fotografía panorámica, la tecnología Bluetooth, la Comunicación de Campo Cercano (NFC), la tecnología de posicionamiento, la inteligencia artificial y otros medios, el patrimonio puede presentarse en múltiples formatos multimedia.Las agencias responsables de la gestión de sitios patrimoniales almacenan y organizan grandes cantidades de datos relacionados con el patrimonio en forma de museos digitales, lo que permite a investigadores y usuarios acceder a ellos para su búsqueda, consulta y navegación en línea, además de ofrecer presentaciones multimedia sobre el patrimonio [28–30]. Muchas de estas agencias cuentan con quioscos con pantalla táctil, tabletas, auriculares multimedia y dispositivos de realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR).Se han lanzado en las tiendas de aplicaciones aplicaciones móviles relacionadas con museos patrimoniales, sitios arqueológicos, reliquias culturales y edificios históricos. A través de estas aplicaciones, los visitantes pueden ampliar la imagen para observar el patrimonio con mayor claridad y navegar por edificios históricos y museos desde una perspectiva de 360°.

A medida que avanzan las tecnologías de educación y difusión digitales, las entidades responsables de la gestión de sitios patrimoniales emplearán cada vez más herramientas tecnológicas para la excavación y promoción de los valores culturales. La tecnología de redes de banda ancha y las bases de datos multimedia se utilizan generalmente para la gestión integral del contenido digital; además, se ofrecen servicios de recuperación de información al público a través de plataformas en Internet y se integran recursos correspondientes.El uso de métodos digitales para desarrollar principios, directrices y protocolos destinados a la documentación, el seguimiento, la interpretación y la difusión puede ayudar a los responsables de los sitios patrimoniales a mejorar el valor práctico general de las plataformas digitales, crear visitas virtuales y exposiciones en línea, realizar un catálogo digital integral y promover el intercambio en red del patrimonio, así como formular estrategias de desarrollo del patrimonio digital y estándares de evaluación.

Ya en 1996, el Ministerio de Cultura francés (Ministère de la Culture) tomó la iniciativa de lanzar un programa de digitalización. En 2018, el ministerio puso en marcha el Programa Nacional de Digitalización y Valorización de los Contenidos Culturales (Programa Nacional de Digitalización y Promoción de los Contenidos Culturales, en adelante «Programa PNV»), una continuación del mencionado programa de digitalización que ponía especial énfasis en una implementación más integral de la estrategia de digitalización cultural.El contenido del programa se orienta cada vez más hacia el uso de materiales culturales, la difusión cultural lo más amplia posible, el desarrollo de la educación digital y la presentación de nuevos servicios en línea, con el fin de fomentar la comunicación y el promovimiento de los valores del patrimonio cultural, los edificios históricos y las colecciones artísticas.

La investigación sobre la protección del patrimonio basada en tecnologías digitales también contribuye al desarrollo de las formas de exhibición del patrimonio. Diversos medios digitales buscan transmitir al público la información histórica y los valores asociados al patrimonio de maneras más intuitivas y completas. Por razones de seguridad, los edificios históricos o sitios antiguos bajo estricta protección generalmente no permiten el acceso público a sus interiores. Mediante simulaciones de escenas reales basadas en tecnologías de realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR) de alta precisión, se pueden revelar al máximo los valores históricos y estéticos del patrimonio. Numerosas universidades y organismos responsables de la gestión de sitios patrimoniales han realizado investigaciones sobre tecnologías relacionadas con la digitalización del patrimonio en el ámbito de la gestión de información, la realidad virtual, así como en la restauración y reconstrucción digitales. Entre los ejemplos se encuentran el proyecto «Templo Egipcio Virtual», una colaboración entre la Universidad de Pittsburgh y FiatLUX Studio (Canadá); el proyecto «Giza Digital», fruto de una colaboración entre la Universidad de Harvard y la Fundación Andrew W. Mellon; y el proyecto «Contenido 3D del Jardín Ninna-ji Goten», desarrollado conjuntamente por el templo Ninna-ji de Kioto y la empresa SUS Corporation.

Desde la pandemia de COVID-19, el uso de contenidos intangibles en las redes sociales dedicadas al patrimonio ha aumentado de manera constante [31]. Muchas entidades responsables de la gestión de sitios patrimoniales han comenzado a colaborar con la industria del videojuego, mejorando la representación de los valores del patrimonio cultural mediante el desarrollo de juegos serios y alianzas con franquicias de videojuegos [32], y utilizando juegos de realidad aumentada (AR) y realidad virtual (VR) para presentar la historia de forma más vívida al público, especialmente a los públicos más jóvenes.

4.6 Prácticas de digitalización del patrimonio en China

4.6.1 Comenzando por las unidades designadas para la protección del patrimonio cultural

La investigación sobre la digitalización del patrimonio en China comenzó relativamente temprano. Fue impulsada principalmente por instituciones especializadas en estudios de patrimonio cultural, tomando como objetos centrales los principales sitios patrimoniales protegidos. A partir de 1993, la Academia de Dunhuang puso en marcha el proyecto de investigación «Sistema de almacenamiento y gestión por ordenador para los murales de Dunhuang», aplicando fotogrametría de corto alcance en la cueva 45 de las Grutas de Mogao para obtener imágenes fotográficas de alta calidad y gran precisión de los murales mediante película de inversión, y utilizando escaneo digital para generar imágenes digitales de estos mismos. A finales de 1998, la Academia de Dunhuang, en colaboración con la Universidad Northwestern y la Fundación Mellon, llevó a cabo el proyecto de investigación conjunta «Digitalización de los murales de Dunhuang y el Archivo Digital Internacional de Dunhuang». Gracias a la cooperación técnica y a la introducción de métodos adecuados, se estableció un enfoque metodológico para la digitalización de murales bidimensionales, y se completó una digitalización integral de más de 20 cuevas representativas de las Grutas de Mogao que ya habían sido publicadas previamente [26]. En 2001, el Museo del Palacio lanzó oficialmente su sitio web, dando así el primer paso hacia la creación de una base de datos integral de materiales arquitectónicos históricos. En 2004, se aplicó la tecnología de levantamiento láser en 3D a la construcción digital de la Ciudad Prohibida. En 2017, la Universidad de Zhejiang y el Instituto de Investigación de las Grutas de Yungang de la provincia de Shanxi colaboraron para crear una réplica a escala 1:1 de la Cueva 3 de las Grutas de Yungang utilizando tecnología de impresión 3D, lo que constituyó el primer proyecto mundial de replicación a gran escala de un patrimonio cultural logrado mediante esta técnica. En los últimos años, la Administración Nacional del Patrimonio Cultural ha emitido sucesivamente documentos normativos departamentales sobre la protección digital de las unidades de conservación del patrimonio cultural, entre ellas el Templo Qutansi, el antiguo emplazamiento de la Fábrica de Cemento Huaxin y el Templo Fuzhen en la montaña Wudang.

4.6.2 Digitalización del patrimonio: fortaleciendo la protección de las ciudades históricas y culturales

Los elementos de la protección del patrimonio digital en las zonas urbanas históricas son numerosos y comprenden principalmente la recopilación y clasificación de datos patrimoniales, la descripción y presentación de recursos históricos, la organización de bases de datos para el almacenamiento a largo plazo, la recuperación de información mediante consultas y la difusión interactiva al público. El proceso de digitalización del patrimonio consta de tres etapas: ① Información digital. En las zonas urbanas históricas, este método puede aplicarse a la vectorización de datos geográficos, información catastral y documentación arquitectónica. Al comparar los cambios en el sistema catastral, es posible analizar el proceso de transformación urbana. Diversos eventos de planificación y construcción en estas áreas se catalogan, registran y ordenan cronológicamente. Se utiliza un marco cognitivo para analizar los cambios en edificios, carreteras, la estructura espacial urbana y los usos funcionales, evaluar el valor de conservación y transmisión del patrimonio cultural, y asociar directamente los datos catastrales, las referencias documentales y las conclusiones analíticas con los edificios físicos. ② Plataformas digitales. Estos integran la base principal de datos archivísticos para la gestión y protección de las zonas urbanas históricas, estableciendo plataformas de digitalización del patrimonio que unifican la división del trabajo y la coordinación de la gestión en este ámbito. ③ Estándares digitales. Se han establecido especificaciones técnicas y estándares de evaluación correspondientes para la protección digital del patrimonio en distritos culturales históricos o zonas urbanas históricas, lo que brinda apoyo a la protección y gestión, la planificación, el diseño paisajístico, la investigación académica y los servicios comunitarios relacionados con la práctica de la digitalización del patrimonio [33–34].

En la actualidad, China ha explorado y implementado prácticas de digitalización del patrimonio relativamente completas y multinivel para las ciudades históricas y culturales.

A nivel provincial, la provincia de Sichuan ha desarrollado una plataforma de datos 3D para los recursos históricos y culturales urbanos y rurales, logrando la recopilación, integración y presentación unificadas de los datos geográficos básicos, los recursos históricos y culturales y los datos de modelos 3D en todo el territorio provincial. Esto proporciona un apoyo fundamental y herramientas analíticas para la gestión, planificación y diseño, así como para la protección y utilización de los recursos históricos y culturales, mejorando eficazmente la capacidad de la provincia de Sichuan en materia de protección y administración de dichos recursos⑥.

A nivel municipal, en 2018 el Distrito Histórico y Cultural de la Avenida Enning en Guangzhou realizó el primer escaneo y levantamiento tridimensional de sus calles principales. Sobre esta base se desarrolló la plataforma digital «Memoria de Guangzhou», el primer proyecto de memoria urbana impulsado por el gobierno en China, que promueve de manera sistemática la accesibilidad y la difusión de la historia y la cultura de Guangzhou entre el público. Guangzhou ha entrado ahora en la fase de tecnología inteligente, desarrollando un submodelo para la protección de la ciudad histórica basado en el gran modelo de planificación de Guangzhou denominado «CanPlan». Aprovechando la plataforma de investigación sobre la ciudad histórica y cultural de la Compañía de Planificación Urbana, se ha creado un modelo lingüístico integral que incluye información básica sobre los recursos históricos y culturales de Guangzhou, planes de conservación para los distritos históricos y culturales, así como datos tridimensionales sobre edificios y entorno y otros contenidos relacionados con la gestión de la planificación[32]. Guangzhou ha profundizado aún más en la elaboración de una serie de normas digitales de protección, cubriendo lagunas del sector y proporcionando orientaciones científicas y estandarizadas para sus actividades⑥.

Mientras tanto, Suzhou ha llevado a cabo una amplia exploración práctica en la construcción de gemelos digitales y plataformas digitales. Ha desarrollado la Plataforma Suzhou CIM+ para la Protección y Renovación de la Ciudad Histórica, proponiendo de manera innovadora una arquitectura de gemelo digital para la ciudad antigua de Suzhou. Impulsado por los escenarios y la tecnología digitales, aborda la contradicción entre la protección de la ciudad antigua y su desarrollo de revitalización, promueve el desarrollo sostenible de la ciudad antigua de Suzhou y explora la revitalización digital de los métodos tradicionales de construcción, la evolución digital de los patrones de vida tradicionales y la mejora digital de los valores culturales tradicionales en dicha ciudad[35].

A nivel rural, el Museo Digital de Aldeas Tradicionales Chinas del condado de Jinzhai, en la provincia de Anhui, constituye un ejemplo destacado. El condado cuenta con 5 aldeas tradicionales a nivel nacional y 20 a nivel provincial. Centrado en la característica disposición espacial de «montaña–pueblo–campos–bosque», el museo utiliza medios multimedia, experiencias panorámicas y otros formatos para presentar de manera integral los valores y connotaciones únicos de estos pueblos, creando un museo digital que combina valor educativo, interactividad atractiva y atractivo visual, y logra así la protección y transmisión digitales de los pueblos tradicionales⑦.

5 Conclusiones y perspectivas

5.1 La naturaleza impulsada por la demanda de la digitalización del patrimonio exige investigaciones que respondan rápidamente a los desafíos reales, con el fin de crear plataformas de investigación de datos.

Tanto si se trata de hacer frente al cambio climático, al turismo excesivo o a la recuperación en la era posterior a la pandemia de COVID-19, los desafíos a los que se enfrentan actualmente los sitios patrimoniales están estrechamente vinculados a los cambios y crisis que surgen constantemente en todo el mundo. Aunque la digitalización difícilmente puede sustituir las entidades físicas del patrimonio, es indudable que este enfoque puede mitigar o retrasar diversas formas de daños inevitables al patrimonio, compensar las limitaciones de su difusión, fomentar la integración regional y fortalecer el sentido de pertenencia cultural. Muchas agencias responsables de la gestión de sitios patrimoniales mantienen contacto con el público mediante un número creciente de iniciativas digitales y responden rápidamente a los desafíos reales para facilitar la creación de plataformas de investigación basadas en datos. Asimismo, los gobiernos nacionales continúan implementando medidas y elaborando planes estratégicos destinados al patrimonio cultural y a su desarrollo digital.

5.2 La naturaleza impulsada por la tecnología de la digitalización del patrimonio hace que la investigación se centre en resolver cómo aplicar las tecnologías digitales en la protección del patrimonio cultural, avanzando continuamente hacia la informatización, la intensificación, la interactividad y la inteligencia.

La tecnología digital es una herramienta poderosa para la grabación y visualización del patrimonio cultural. Ha evolucionado desde la simple grabación y archivación digitales hasta el modelado y reconocimiento en 3D, las bases de datos sobre patrimonio y la integración con las tecnologías de la información. La aparición de las tecnologías de interacción digital, representadas por la realidad virtual (VR) y la realidad aumentada (AR), impulsa continuamente la investigación sobre la digitalización del patrimonio hacia la informatización, la intensificación, la interactividad y la inteligencia. Aunque la investigación sobre la digitalización de patrimonios ha acumulado décadas de experiencia valiosa, y con la continua mejora iterativa de las redes informáticas, los grandes datos y otras tecnologías científicas, este campo se encuentra aún en una fase de acumulación de conocimientos mientras ajusta su dirección frente al cambio tecnológico. Aún existe un gran potencial y espacio para desarrollo en el futuro.

5.3 La digitalización del patrimonio impulsa una transformación en el sistema tradicional de protección del patrimonio

El objetivo de la digitalización del patrimonio es proteger y difundir el patrimonio cultural mediante tecnologías digitales, permitiendo su preservación permanente y su difusión amplia en el espacio digital. La transformación impulsada por la tecnología del sistema tradicional europeo de protección del patrimonio ha llevado a repensar las cuestiones de autenticidad e integridad en el proceso de digitalización y ha abierto nuevas vías para explorar las dimensiones sociales de esta práctica. La digitalización del patrimonio ha aportado contribuciones prácticas positivas al registro continuo del patrimonio, a la identificación inteligente de sus vulnerabilidades, a la fiabilidad de su restauración, a la creación de modelos digitales y bases de datos sobre patrimonio, así como al mejoramiento tecnológico de su exhibición e interpretación.

5.4 China cuenta con prácticas relativamente avanzadas en la digitalización del patrimonio tanto para la protección del patrimonio cultural como para la conservación de las ciudades históricas y culturales; no obstante, necesita urgentemente una legislación a nivel nacional sobre la protección de la digitalización del patrimonio, así como la elaboración de especificaciones técnicas y estándares de evaluación correspondientes para dicha digitalización en las zonas urbanas históricas.

Partiendo de las prácticas existentes, se deben acelerar los esfuerzos para crear bases de datos de planificación urbana interdisciplinarias y multidepartamentales, desarrollar modelos digitales de protección del patrimonio en las zonas urbanas históricas y establecer bases de datos dedicadas al patrimonio de dichas áreas. Estos elementos deben integrarse con el sistema existente de planificación urbana histórica y cultural para desarrollar plataformas digitales de protección del patrimonio en las zonas urbanas históricas, proporcionando un apoyo de datos auténtico y eficaz para la salvaguardia de estas ciudades. Asimismo, los datos sobre el patrimonio de dichas zonas deben compartirse de forma abierta entre diversos actores interesados bajo condiciones de protección por derechos de autor, facilitando su uso público. Cabe destacar que, aunque la digitalización del patrimonio se ha convertido en un medio de suma importancia para preservar y difundir la información sobre él, no debe sustituir la protección física ni el uso exhibitivo del mismo.

De cara al futuro, es fundamental prestar atención a los desafíos derivados de la desaparición de los datos del patrimonio digital y de las limitaciones cognitivas; a cómo encontrar un equilibrio entre lo virtual y lo real para que los valores del patrimonio se transmitan de manera completa y profunda; a cómo establecer un marco ético y códigos de práctica para la protección digital; y a cómo diseñar estrategias inteligentes de protección [36–37].

La digitalización del patrimonio ha fomentado el intercambio de información entre académicos de distintas disciplinas y de todo el mundo, poniendo de manifiesto la complejidad del mundo contemporáneo. Esto generará cambios y oportunidades de crecimiento para el patrimonio que se alineen con las tendencias del desarrollo social, y constituirá asimismo un resultado inevitable y una necesidad práctica para el desarrollo de la investigación sobre patrimonio.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Liang Guofeng, Xu Haowen y Zhou Haidong por sus contribuciones a este artículo.

Notas

- ① Algunos contenidos se extraen del sitio web oficial de la Carta de Londres: <http://www.londoncharter.org/>.
- ② Algunos contenidos se extraen del sitio web oficial de CIPA Heritage Documentation: <https://www.cipaheritagedocumentation.org/>.
- ③ Alguno contenido proviene del sitio web oficial de Cultural Heritage Online (文化遺産オンライン): <https://japanheritage.bunka.go.jp/ja/>.
- ④ Algunos contenidos se han obtenido del sitio web oficial de Visualising Ballarat: <http://www.visualisingballarat.org.au/>, del sitio web oficial de HUL Ballarat: <https://www.hulballarat.org.au/> y del sitio web oficial de la Base de Datos del Patrimonio de Victoria: <https://vhd.heritagecouncil.vic.gov.au/>.
- ⑤ Alguno contenido proviene del sitio web oficial de Arches: <https://www.archesproject.org/>.
- ⑥ SHI Yujun. Prácticas digitales e inteligentes para la protección y gestión de la ciudad histórica de Guangzhou. En el III Foro CIM sobre Construcción de Ciudades Inteligentes: Tecnologías Digitales potenciando la protección y transmisión de las ciudades históricas y culturales, 29 de diciembre de 2024.
- ⑦ ZHANG Honghui. La tecnología digital potencia la protección de los recursos históricos y culturales. En el 3º Foro CIM sobre Construcción de Ciudades Inteligentes: Tecnología Digital para fortalecer la protección y transmisión de las ciudades históricas y culturales, 29 de diciembre de 2024.

Referencias

- [1] UNESCO. Carta para la preservación del patrimonio digital [S]. París: 32ª Sesión de la Conferencia General de la UNESCO, 18.ª Reunión Plenaria, 2003.
- [2] LETELLIER R, SCHMID W, LEBLANC F. Registre, documentación y gestión de la información para la conservación de lugares patrimoniales. Volumen 1: Principios directrices [M]. Los Ángeles: Instituto de Conservación Getty, 2007.

- [3] Laboratorio de Visualización de King's, King's College London. Carta de Londres para la visualización por ordenador del patrimonio cultural, borrador 2.1 [R]. Londres: Simposio sobre «Hacer transparentes los resultados de la investigación visual en 3D», 2012.
- [4] BEACHAM R, DENARD H, NICCOLUCCI F. Una introducción a la Carta de Londres [C] // IOANNIDES M, ARNOLD D, NICCOLUCCI F, et al. La evolución de la comunicación de información y la tecnología en el patrimonio cultural, Actas de VAST. Budapest: Archaeolingua, 2006: 263–269.
- [5] BOX P. Gestión de sistemas de información geográfica y recursos culturales: Un manual para gestores del patrimonio [M]. Bangkok: Oficina Regional Principal de la UNESCO para Asia y el Pacífico, 1999.
- [6] JACOBSON J, HOLDEN L. El templo egipcio virtual [C] // KOMMERS P, RICHARDS G. Actas de EDMEDIA 2005 — Conferencia Mundial sobre Multimedia Educativa, Hipermédia y Telecomunicaciones. Montreal: Asociación para el Avance de la Computación en la Educación (AACE), 2007: 4531–4536.
- [7] YANG Chen, CHEN Zhengyu. Protección digital del patrimonio cultural y natural mundial y nuevas tendencias internacionales [J]. Landscape Architecture, 2023, 30(10): 96–102.
- [8] YANG Chen, WANG Zhiru. Estudio de viabilidad sobre la exhibición y la aplicación digital del patrimonio de los jardines clásicos de Jiangnan [J]. Garden (Luyuan), 2024, 41(9): 19–28.
- [9] ZHANG Song. Aportes de los códigos y prácticas europeos de conservación del patrimonio para la protección urbana en China [J]. City Planning Review (Revista de Planificación Urbana), 2024(2): 64–70.
- [10] EPPICH R, CHABBI A. Registre, documentación y gestión de la información para la conservación de lugares patrimoniales. Volumen 2: Ejemplos ilustrados [M]. Los Ángeles: Instituto de Conservación Getty, 2007.
- [11] DEMAS M. Planificación para la conservación y gestión de sitios arqueológicos: un enfoque basado en valores [M] // TEUTONICO J M, PALUMBO G. Planificación de la gestión de sitios arqueológicos, un taller internacional organizado por el Instituto de Conservación Getty y la Universidad Loyola Marymount, 19–22 de mayo de 2000. Los Ángeles: El Instituto de Conservación Getty, 2002: 27–54.
- [12] KUBLER B. Las estrategias de mediación digital en los museos: un estudio exploratorio sobre la práctica estratégica [C]. Workshop ORNUM: Organización y Digitalización, CREGO Dijon, 2019.
- [13] KUBLER B. Las estrategias numéricas en la práctica en las organizaciones museísticas: el caso de las herramientas interactivas de mediación cultural [C]. Sorbona, París: VIII Congreso AIRMAP «Territorios inteligentes y gestión pública sostenible», 2019.
- [14] QUINTERO M S. Proteger el patrimonio arquitectónico: desafíos en la digitalización de recursos culturales [C] // El 2º Simposio Internacional sobre la Conservación y Digitalización del Patrimonio Cultural. 2012: 6–17.
- [15] SHORT M. Evaluación del impacto de las propuestas para edificios altos en el patrimonio arquitectónico: las ciudades regionales de Inglaterra en el siglo XXI [J]. Progress in Planning, 2007, 68(3): 97–199.
- [16] VANEGAS C, ALIAGA D, MUELLER P, et al. Modelado de la apariencia y el comportamiento de los espacios urbanos [J]. Computer Graphics Forum, 2010, 29(1): 25–42.
- [17] GUHATHAKURTA S, KOBAYASHI Y, PATEL M, et al. Proyecto Digital Phoenix: un viaje multidimensional a través del tiempo [M] // HAGEN H, GUHATHAKURTA S, STEINEBACH G. Visualización de la planificación sostenible. Berlín y Heidelberg: Springer, 2009: 159–184.
- [18] NORRIS S, WALSH M J, KAFFENBERGER T A. Visualización de Famagusta: enfoques interdisciplinarios para el estudio de la catedral ortodoxa de San Jorge de los Griegos en Famagusta, Chipre [J]. Archives and Manuscripts, 2014, 42(1): 48–60.
- [19] PETTY Z, LANDRIEU J, COULAIS J, et al. Problemas de escalado espacial y temporal en la gestión de datos: la restauración virtual del patrimonio clónico [J]. Applied Geomatics, 2012, 6(2): 71–79.
- [20] MORTARA M, CATALANO E C, BELLOTTI F, et al. Aprendizaje del patrimonio cultural mediante juegos serios [J]. Journal of Cultural Heritage, 2014, 15(3): 318–325.
- [21] GUO Xiaotong, YANG Chen, HAN Feng. Innovación en la grabación digital y la conservación del patrimonio del paisaje cultural [J]. Arquitectura del Paisaje Chino (China Garden), 2020, 36(11): 84–89.
- [22] HADDAD N. De la topografía terrestre al escáner láser 3D: una revisión de las técnicas utilizadas para la documentación espacial de sitios históricos [J]. Revista de la Universidad Rey Saud — Ciencias de Ingeniería, 2011, 23(2): 109–118.
- [23] QUINTERO M S, AWAD R, BARAZZETTI L. Utilización de flujos de trabajo digitales para comprender, promover y fomentar la participación en la conservación de los sitios patrimoniales, superando tanto los desafíos éticos como los técnicos [J]. Built Heritage, 2020, 4(6): 1–18.
- [24] YANG Chen. Paisaje del patrimonio digital: La práctica y la innovación digitales del paisaje histórico urbano en Ballarat, Australia [J]. Chinese Landscape Architecture (China Garden), 2017, 33(6): 83–88.

- [25] FU Xinyi, MA Xiaojuan, SUN Zhijun. Investigación sobre la restauración digital de murales dañados: un estudio de caso de los murales de Dunhuang [J]. *Art & Design (Decoración)*, 2019(1): 21–27.
- [26] CHEN Zhenwang, FAN Jinshi. La aplicación de la integración cultural y tecnológica en la protección del patrimonio cultural: un estudio de caso sobre la digitalización de las Grutas de Mogao en Dunhuang [J]. *Dunhuang Research (Estudios de Dunhuang)*, 2016(2): 100–107.
- [27] YANG C. Utilización de un «modelo interpretativo» para el diseño contextual de bases de datos sobre paisajes patrimoniales: el caso del Parque Nacional de la Isla Santa Helena en Queensland, Australia [J]. *Geographical Research*, 2015, 53(3): 321–335.
- [28] JARRIER E. Un enfoque experiencial de los efectos del uso de una herramienta interactiva en el ámbito cultural: una aplicación a los museos de arte [D]. Dijon: Universidad de Borgoña, 2015.
- [29] MENCARELLI R, RIVIERE A. La participación del cliente en un contexto de tecnologías de autoservicio [J]. *Revue Francaise de Gestion*, 2014, 241(4): 13–30.
- [30] MEUTER M L, BITNER M J, OSTROM A L, et al. Elección entre distintos modelos de prestación de servicios: una investigación sobre la experiencia de los clientes con tecnologías de autoservicio [J]. *Journal of Marketing*, 2005, 69(2): 61–83.
- [31] Kubler B. Cultura mediadora y gamificación: Cuando el museo invita al juego [J]. *Espaces: Turismo y ocio*, 2021, 378: 15–18.
- [32] Kubler B. Viaje al país de las aplicaciones para visitas museísticas. Tendencias, perspectivas y medición de la interactividad de las aplicaciones de los museos franceses [C]. París: La experiencia del visitante en el museo: fuentes, formas y cuestiones teóricas, Taller del tercer ciclo de la Escuela del Louvre, 2020.
- [33] HE Yan, MA Yinghua. Investigación sobre cómo la tecnología digital potencia la protección y transmisión de las ciudades históricas y culturales [J]. *China Ancient City (China Mingcheng)*, 2024, 38(4): 70–76.
- [34] ZHU Jinglu, QIN Jie. Traducción y promoción digitales para la protección de las ciudades históricas y culturales: un estudio de caso de la plataforma digital «Memoria de Guangzhou» [J]. *Planners (Planificadores)*, 2021, 37(22): 51–54.
- [35] YANG Tao, LI Jing, LI Mengyao, et al. Métodos de gemelo digital para la protección y revitalización del patrimonio histórico y cultural en la antigua ciudad de Suzhou [J]. *City Planning Review (Revista de Planificación Urbana)*, 2024(1): 82–90.
- [36] WU Zhiqiang. Las diez palabras clave más relevantes para el desarrollo de la disciplina de planificación urbana y rural (2023–2024) [J]. *City Planning Review (Revista de Planificación Urbana)*, 2023(6): 1–4.
- [37] GAN Wei, WU Zhiqiang, WANG Yuankai, et al. Construcción de un modelo teórico para el diseño urbano asistido por AIGC [J]. *City Planning Review (Revista de Planificación Urbana)*, 2023(2): 12–18.

Ai 辅助翻译