

En el contexto de la conservación y la gestión del patrimonio cultural, los gemelos digitales son grandes aliados para el conocimiento, la planificación, el control y la difusión de bienes culturales como obras de arte, monumentos y ciudades históricas. En este artículo se presentan diversos ejemplos de cómo la tecnología aplicada al patrimonio permite gestionar y dar a conocerlo a las generaciones actuales y futuras de manera rigurosa y didáctica.

Los gemelos digitales representan la convergencia de diferentes tecnologías para el diseño, desarrollo y mantenimiento de copias virtuales precisas de objetos físicos, sistemas o procesos. El concepto nació en la década de 1960, con la creación de réplicas de las naves enviadas al espacio con el fin de llevar a cabo estudios y simulaciones¹, aunque su aplicación moderna data de los años 2000.

En la industria y en la logística es habitual encontrar estos sistemas virtuales para el control de procesos y recursos, o bien para realizar tareas preventivas sin necesidad de intervenir en el espacio físico. En lo que respecta a la conservación y la gestión del patrimonio cultural, los gemelos digitales son excelentes herramientas para su conocimiento, planificación, control y difusión. En este contexto, un gemelo digital se puede definir como la representación virtual exacta y detallada de un objeto o sistema físico, creada a través de tecnologías como el modelado 3D, la fotogrametría o los escáneres, con el objetivo realizar análisis, simulaciones y, por tanto, tomar decisiones favorables para la conservación y gestión del elemento patrimonial.

Por su complejidad, en su concepción y desarrollo se debe implicar un equipo multidisciplinar que incluye especialistas en humanidades y específicamente en humanidades digitales (en disciplinas como historia, historia del arte, restauración, arqueología, documentalistas...) así como expertos en tecnología e ingenieros. La naturaleza de los elementos replicados puede ser diversa: esculturas, monumentos o incluso ciudades. La digitalización de documentos se podría llegar a considerar una manera de generar un gemelo digital del objeto físico, aunque normalmente el término se aplica a elementos tridimensionales de mayor complejidad.

El concepto de gemelo virtual puede ir más allá y abarcar entidades como los mares y los océanos

De este modo, en el ámbito específico de la gestión documental y siguiendo la estela de otras instituciones españolas, recientemente la Biblioteca de la RAE abrió sus puertas al legado de libros históricos que han servido a la institución desde sus orígenes, presentando su Biblioteca Digital². Más allá de las fronteras europeas, en 2024 la Biblioteca Nacional de Corea presentó Korean Memory³, una plataforma que permite el acceso a más de 260.000 recursos como libros, revistas o videoclips digitalizados, entre otros.

Quizás la aplicación más popular de los gemelos digitales al patrimonio sea la virtualización de monumentos tan sensibles al paso del tiempo y a la intervención del medio como las catedrales. A raíz del catastrófico incendio de la catedral de Notre Dame de París en 2019, los cabildos catedralicios, los gobiernos autonómicos y otras instituciones han comprendido la importancia de contar con una copia virtual de las catedrales y

aquellas construcciones reconocidas como bienes de interés cultural (BIC) o como patrimonio de la humanidad. Esto también ha sido impulsado por la UNESCO desde su World Heritage Center⁴.

Los gemelos digitales son un gran aliado para prevenir deterioros, facilitar estudios e investigaciones o para realizar labores preventivas. Disponer de una copia virtual del Pórtico de la Gloria de la Catedral de Santiago fue decisivo para su gestión, tras saltar las alarmas al observar que las corrientes de aire, cargadas de condensación, podían llegar a arruinar la reciente restauración. A través del diseño y desarrollo de un gemelo digital del interior de la catedral —incluyendo sus 60.000 metros cúbicos de aire— es posible monitorizar cómo se distribuirán las corrientes y así prever dónde se podrían acumular humedades, en función de la meteorología, de cara a realizar las acciones preventivas pertinentes. Además, con estos datos se puede gestionar de forma más eficiente el sistema de visitas al Pórtico, limitadas a grupos pequeños y por no más de treinta minutos, en unas condiciones de temperatura y de humedad óptimas para la preservación de la obra del Maestro Mateo.

Otras catedrales de España también cuentan con sus correspondientes gemelos digitales. Las instituciones responsables de la Pulchra Leonina, uno de los ejemplos más paradigmáticos del gótico francés en España, llevaron a cabo de la mano de la empresa Plain Concepts un proyecto de captura integral del monumento utilizando una combinación tecnológica específica para los exteriores y otra para los interiores. El resultado fue una nube con más de cinco billones de puntos de la catedral con una precisión de un milímetro, lo cual permite hacer mediciones exactas de sus dimensiones, así como analizar y observar en detalle elementos como los rosetones, las vidrieras o el famoso “topo”.

El gemelo digital de la catedral de León es accesible para los investigadores y curiosos que estén interesados en conocer el monumento, sin necesidad de desplazarse, a través de la aplicación disponible en PointNet⁵. Otro monumento tan emblemático como la catedral de Toledo está trabajando en su propio gemelo de cara a la celebración de su VIII centenario en 2026. En este caso es la empresa ABSCISA3d la encargada del proyecto, junto con el Colegio Oficial de Ingeniería Geomática y Topografía. Gracias a esta réplica digital, en palabras del Arzobispado, será posible «preservar el patrimonio artístico y cultural» que «también permitirá nuevas oportunidades para la investigación, la conservación y la planificación de proyectos de restauración que podrán utilizar los arquitectos, arqueólogos y conservadores en sus proyectos de restauración con una precisión sin precedentes, garantizando la preservación de la Catedral para las generaciones futuras»⁶. En esta misma estela, Sevilla⁷, Burgos, Salamanca y otras ciudades han desarrollado o están trabajando en la construcción de gemelos digitales para preservar sus catedrales.

Además de estos monumentos tan emblemáticos, diversos edificios se benefician de las ventajas de contar con su mimesis virtual. Es el caso de las iglesias de San Zoilo de Carrión y de San Martín de Frómista, ambas en la comarca palentina de Tierra de Campos, que gracias a la iniciativa liderada por Zoilo Perrino, ingeniero de edificación especializado en digitalización del patrimonio por el CSIC, han sido digitalizadas con el objetivo de facilitar su conservación y visita. La información del proyecto ha sido incluida en la Clunypedia⁸, una plataforma que recoge gran parte de los edificios de la orden con el fin de «reunir todo el conocimiento y la información sobre el patrimonio cluniacense en toda Europa»⁹, con la ambición de llegar a indexar y modelar en 3D los 1.200 sitios cluniacenses del continente.

Los centros históricos de ciudades también están comenzando a ser digitalizados. Más allá de los beneficios en términos de eficiencia energética, regulación del tráfico o de optimización de servicios, contar con un gemelo sirve para tomar medidas que favorezcan la preservación y difusión del patrimonio para los ciudadanos. En ocasiones estos proyectos se llevan a cabo con fondos Next Generation de la Unión Europea, como en el caso de Pamplona. En Málaga, la empresa Visitas Virtuales S.L está trabajando en la creación de un gemelo digital de la capital andaluza, comenzando por la digitalización de su centro histórico —concretamente la Plaza de la Merced, en la que se ubica la casa natal de Picasso— con un escáner láser Leica, entre otras tecnologías. El proyecto promete estar gamificado y contar con un avatar realizado con inteligencia artificial que acompañará al visitante en su paseo por el casco.

Del mismo modo, son los responsables del proyecto Monumentia, en el que utilizan «fotografías aéreas en 360º para resaltar la belleza de nuestro patrimonio material e inmaterial ante turistas y residentes», incluyendo «yincanas para disfrutar y conocer los pueblos y recrear en 3D monumentos deteriorados para difundir la historia e incluso una gamificación dentro del recorrido del monumento para destacar con infografía peculiaridades del mismo». Otras empresas también se apoyan en tecnologías como la fotogrametría o los drones para dar a conocer y gestionar el patrimonio. Dronícola se especializa en ayudar a los pequeños pueblos y ciudades de la España vaciada mediante un enfoque autosuficiente y sostenible, de tal modo que «los habitantes o miembros de las comunidades participantes crearán contenidos junto con los viajeros. Sin embargo, serán las comunidades las que tendrán el control, procesarán, validarán y publicarán los contenidos.» Por su parte, el equipo de Muvadrona desarrolló en 2024 un gemelo digital de la estatua de Francisco de Vinatea, ubicada en la Plaza del Ayuntamiento de Valencia, lo que permitirá conocer su estado actual y monitorizarlo para planificar las estrategias de mantenimiento y conservación óptimas.

Contar con un gemelo sirve para tomar medidas que favorezcan la preservación y difusión del patrimonio para los ciudadanos

Libros, fotografías, esculturas, iglesias, catedrales e incluso ciudades completas son artefactos susceptibles de ser digitalizados, pero el concepto de gemelo virtual puede ir incluso más allá y abarcar entidades como los mares y los océanos. Desde 2022 y con previsión de finalizar en 2030, la Unión Europea está coordinando un ambicioso proyecto para ayudar, con ciencia y datos, a monitorizar la salud de nuestros mares y actuar en consecuencia, de cara a mitigar los efectos del cambio climático y de la acción humana¹⁰. Con estas fotocopias digitales se podrán realizar simulaciones de las olas de calor, prever la dispersión de las tortugas o el recorrido de los plásticos vertidos en función de las mareas, las corrientes submarinas o los vientos oceánicos.

Otra iniciativa interesante es la del gemelo digital de la Isla del Trocadero en Puerto Real, liderada por la Unidad de Geodetección y Georeferenciación de la Universidad de Cádiz y también con fondos Next Generation, con la cual se dispondrá de una imagen de la «realidad integral de la isla, que permitirá obtener todo tipo de datos integrando modelos digitales 3D en un modelo digital del terreno de todo el área y su patrimonio cultural arquitectónico y paisajístico. Para ello usarán de forma combinada sus equipos de dron, LiDAR aéreo, sensor LiDAR y escáner láser terrestre.»

La tecnología de gemelos digitales ayuda por tanto a replicar el presente, monitorizarlo y prever posibles futuros, pero ¿por qué no aplicarla para recrear el pasado? La pasión por imaginar cómo fueron grandes ciudades como Roma o Atenas en su apogeo clásico no es algo exclusivo de la actualidad. Ya en el siglo XIV jóvenes idealistas como Brunelleschi y Donatello paseaban entre las ruinas romanas para comprender sus técnicas de construcción y recuperarlas para sus contemporáneos. Aplicando las tecnologías de su época, en la década de 1440 el arquitecto Leon Battista Alberti compiló una Descripción de la ciudad de Roma que plasmaba sus investigaciones topográficas. Esta misma pasión, la de caminar por las calles de una de las cunas de la civilización europea, es la que movió a Bernard Frischer, que desde 2004 lleva trabajando en un modelo 3D de Roma con el objetivo de hacer realidad su visión de «llevar a las personas a donde y cuando nunca han ido antes: en el pasado, el presente y el futuro.» Porque no se puede amar lo que no se conoce, tecnologías como los gemelos digitales ayudan a una mejor comprensión y admiración de nuestro patrimonio y a legarlo con tanto rigor como delicadeza a los que están por nacer.