

Gemelo digital en edificios patrimoniales y la evolución de este concepto en la producción científica

Digital twinship in heritage buildings and the evolution of this concept in scientific production

Jose Pablo Bulgarelli-Bolaños¹, Ileana Hernández-Salazar², Rosa Elena Malavassi-Aguilar³, Enmanuel Salazar-Ceciliano⁴, María del Carmen Valverde-Solano⁵, Ericka Solano-Fernández⁶

Bulgarelli-Bolaños, J.P; Hernández-Salazar, I; Malavassi-Aguilar, R.E; Salazar-Ceciliano, E; Valverde-Solano, M.C; Solano-Fernández, E. Gemelo digital en edificios patrimoniales y la evolución de este concepto en la producción científica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, número especial. Noviembre, 2023. Escuela de Arquitectura y Urbanismo. TEC. Pág. 55-66.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i9.6958>

- 1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: jpbulgarelli@itcr.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0001-5476-6544>
- 2 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: jhernandez@itcr.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0002-2355-0270>
- 3 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: rmalavasi@itcr.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0001-6051-1062>
- 4 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: ensalazar@itcr.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0003-0304-7173>
- 5 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: mcvalverde@tec.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0002-2203-8128>
- 6 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: ersolano@itcr.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0002-3218-1710>

Palabras clave

Modelo tridimensional; conservación programada; fase operativa; mantenimiento.

Resumen

Los objetivos de esta comunicación son describir qué se entiende por “gemelo digital de obras patrimoniales” y presentar el resultado de un análisis bibliométrico en torno a publicaciones científicas en donde se aborda este concepto. Los artículos que se consideran se encuentran registrados en la base de datos *Elsevier Scopus*, para el periodo comprendido entre el 2018 y julio 2022. Este análisis fue desarrollado por el equipo de investigación del proyecto: “Gemelo digital como herramienta de gestión del plan de conservación programada; caso de estudio: foyer y fumadores del Teatro Nacional de Costa Rica”, del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC). Esta producción científica se realizó previo al inicio formal de la ejecución del proyecto, con el fin de generar una contextualización del tema y como insumo para el desarrollo de sus objetivos.

Entre los índices bibliométricos descritos se encuentran: autores, momento de publicación, afiliaciones, países con mayor producción científica relacionada al concepto y principales nichos de investigación. Se consideraron 35 publicaciones en total, producidas por 151 autores, de 66 afiliaciones, en 21 países. Se determinó que, si bien dentro de la producción científica existe la conceptualización del gemelo digital de obras patrimoniales, se evidencian pocos casos de aplicación y, por tanto, del desarrollo de la herramienta.

Keywords

Three-dimensional model; programmed conservation; operational phase; maintenance.

Abstract

The aims of this paper are to describe what is meant by “digital twin of patrimonial works” and to present the results of a bibliometric analysis of scientific publications dealing with this concept. These articles were registered in the Elsevier Scopus database, during the period between 2018 and July 2022. This analysis was developed by the research team, from the Costa Rican Technological Institute, of the project: “Digital twin as a management tool of the programmed conservation plan; case study: foyer and smokers of the National Theater of Costa Rica”. This scientific production was carried out prior to the formal start of the execution of the project, to generate a precise contextualization of the topic in question and as input for the development of its objectives.

The bibliometric indexes described include authors, time of publication, affiliations, countries with the highest scientific production related to the concept and main research niches. A total of 35 publications were considered, produced by 151 authors, from 66 affiliations, in 21 countries. It was determined that, although the conceptualization of the digital twin of heritage works exists within the scientific production, there are few cases and, therefore, of the development of the tool.

Introducción

El presente artículo se vincula con el proyecto de investigación “Gemelo digital como herramienta de gestión del plan de conservación programada; caso de estudio: foyer y fumadores del Teatro Nacional de Costa Rica”. Dicho proyecto está inscrito en la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Lo expuesto en este documento se relaciona al segundo objetivo de la investigación, con el cual se pretende establecer la línea base para desarrollo del futuro gemelo digital (GD), entendiéndolo como un instrumento para el seguimiento y control del plan de conservación programada (PCP) del caso estudio. Para alcanzar este objetivo, el equipo de investigación ha realizado una revisión documental en diferentes bases de datos, entre estas *Elsevier Scopus*. En esta comunicación se presenta el resultado del análisis bibliométrico en torno a producciones científicas que abordan el concepto de GD en el contexto patrimonial, publicadas en dicha plataforma.

Previo a exponer el resultado es necesario contextualizar qué se entiende por GD en el ámbito del patrimonio. Según [1], el concepto GD se acuña desde inicios del siglo XXI, y se describe como una representación virtual de lo que se ha producido ([2], citado por [1]), donde se compara al GD con el diseño. [1] indican que dicho concepto se aplicó primero a la industria astronáutica y aeroespacial, y luego en industria de la construcción gracias al desarrollo de sensores asequibles para capturar en tiempo real datos del modelo físico. En este sentido, [1] proponen una metodología para la estructuración e integración del significado cultural de los elementos materiales e inmateriales en los modelos HBIM (*Heritage Building Information Modeling*, por sus siglas en inglés), a considerar en el análisis y simulación de datos. En este sentido, [3] mencionan que la aplicación de estos modelos es precisamente la creación del GD. Además, [1] sugieren la aplicación de los principios del GD para apoyar a los custodios de inmuebles patrimoniales, en la conservación preventiva de estos.

Cercano a la conservación preventiva mencionada por [1], el equipo investigador vincula al GD con la conservación programada, concepto que hace referencia a la utilización de:

...datos que se obtienen directamente del inmueble, para establecer escenarios predictivos que, de manera certera, guíen cómo y cuándo actuar en este, evitando el deterioro a través de acciones oportunas, que permitan el uso eficiente de los recursos destinados a la conservación y evitando intervenciones masivas [4, pg. 30].

Por tanto, este equipo de investigación entiende por GD, en el contexto patrimonial, al sistema de información centralizada del bien que se dedica a recolectar, almacenar y visualizar, en tiempo real, los datos de las variables de monitoreo, con el fin de dar seguimiento al Plan de Conservación Programada PCP y tomar decisiones en función del control de las situaciones que intervienen en la conservación del inmueble.

Para desarrollar el estudio descrito en el presente artículo, se utilizó la herramienta Bibliometrix, desarrollada por Aria y Cuccurullo [5] que ofrece una serie de instrumentos para medir y analizar la producción científica. Dicha herramienta forma parte de un conjunto de bibliotecas provistas por el lenguaje de programación denominado “R”, cuyo ámbito de acción es el análisis estadístico y visualización de datos. Dicha biblioteca pretende integrar en una sola herramienta, distintos servicios que pueden ser obtenidos por varias herramientas de bibliometría. Uno de los servicios que provee *Bibliometrix* es una aplicación web denominada *Biblioshiny App*, la cual permite de manera interactiva, sencilla y amigable la manipulación de registros que se pueden obtener de las bases de datos digitales y procesar la información para ofrecer resultados del análisis estadístico con varios formatos de visualización.

Se analizaron 35 publicaciones indexadas en la base de datos *Elsevier Scopus*, en los que participaron 151 autores de 66 afiliaciones, en 21 países. La búsqueda inicial se acotó a las publicaciones hechas entre el año 2018 y junio del 2022; sin embargo, es interesante detallar que la primera publicación encontrada, sin esta restricción, data del año 2001.

A raíz de lo descrito anteriormente se logró conocer las líneas de investigación relacionadas al desarrollo del concepto de GD, su aplicación en el ámbito patrimonial en los últimos cinco años, así como los retos a futuro; además, permitió identificar los elementos necesarios para el desarrollo del proyecto al cual se vincula este análisis.

Metodología

Como se ha mencionado, la producción científica analizada en este artículo contempla aquellas publicaciones finales en revistas científicas indexadas en la base de datos *Elsevier Scopus*. Los primeros términos de búsqueda fueron las palabras claves *Digital*, *Twin* y *Heritage* y se determinó un rango temporal de cinco años posterior a la fecha de la búsqueda (julio 2022). Se limitaron como subáreas: ingeniería, ciencias de la computación, así como artes y humanidades. Para este momento se identificaron 576 publicaciones. Para garantizar un mayor acercamiento a la información requerida se limitó aún más la búsqueda a palabras claves exactas, las cuales fueron: *Architectural Design*, *Digital Twin*, *Building Information Modelling*, *BIM*, *Information Management*, *Cultural Heritage*, *Artificial Intelligence*, *Historic Preservation*, *Virtual Reality*, *Augmented Reality*, *3D Modeling*, *Decision Making*, *Dimensional Computer Graphics*, *Digital Twins*, *Point Cloud*, *HBIM*, *Building Information Modeling*, *Image Reconstruction*, *Project Management*, *Building Information Model – BIM*, *Conservation*, *3D Models*, *3D Modelling*, *3d-modeling*, *3D Reconstruction*, *Architectural Heritage*, *Facilities Management*, *Heritage Buildings*, *Work-flows*, *Building Information Modeling (BIM)*, *Construction Management*, *Historical Buildings*, *Architecture*, *Built Heritage*, *Visualization*, *Case-studies*, *Preventive Conservation*, *Bibliometrics Analysis*, *Heritage*.

Es importante anotar que el servicio *Biblioshiny App* de *Bibliometrix* delimita la manipulación de archivos tipo “.bib”, que se ajusta al formato de una base de datos específica, de modo que cada una de ellas, establece la estructura de la información que recopila para una consulta particular. *Biblioshiny App* limita la carga de datos a los formatos de información provistos por seis bases de datos específicas, entre ellas, *Elsevier Scopus*, *Web of Science*, *Dimension*, *Lens.org*, *Publmed* y *Cochrane Library*.

Dentro de los recursos obtenidos como fuentes materiales para este estudio, se obtuvieron resultados de consultas de diversas bases de datos. No obstante, no todos estos insumos pudieron ser suministrados a la herramienta para su análisis integrado, debido a la restricción de bases de datos soportadas y los formatos de los archivos “.bib” generados por las bases de datos consultadas. Por esta razón, el análisis realizado en este estudio, acota a los resultados obtenidos por medio de la consulta realizada en *Elsevier Scopus*.

Como se detalló anteriormente y tras los filtros establecidos, se obtuvo un resultado de 35 artículos, cuya información total se exportó mediante la herramienta *BibTeX export*, para obtener el archivo “.bib” que se utilizó para el análisis bibliométrico. Posteriormente, el equipo de investigación del proyecto efectuó dicho análisis aplicando la metodología descrita por [6] con *Biblioshiny App*, cuyos resultados se exponen en el siguiente apartado.

Resultados

Del total de los 35 documentos, 20 corresponden a artículos científicos, 10 son actas de congresos, cuatro revisiones de artículos y un libro. Los años con mayor cantidad de publicaciones fueron los últimos dos del estudio, siendo el 2022 el más prolífico con 14 documentos y el 2021 con 10.

Publicaciones según país y afiliación

El estudio muestra que 23 países han participado en la elaboración de alguna publicación relacionada a las palabras de búsqueda *Digital*, *Twin* y *Heritage*. La lista es encabezada por Italia con el 17.5% del total de las publicaciones, seguida por España, Australia, China, Reino Unido (UK) y EE. UU., los cuales registran un 11.5% cada uno, es decir, estos 6 países concentran el 75% de la producción en el tema en *Elsevier Scopus*. En cuanto a las instituciones que investigan en el área, el estudio mostró actividad por parte de 66 instituciones alrededor del mundo, las cuales se clasifican en tres grupos. El primero está conformado por las casas de enseñanza con mayor cantidad de publicaciones (tres cada una). Estas son la Universidad Jiaotong de Beijín en China y la Universidad Tecnológica de Rzeszów en Polonia.

El segundo grupo es el de aquellas instituciones que se han vinculado a dos publicaciones. Acá se encuentran la Universidad Robert Gordon de Escocia; la Universidad de Ruhr de Bochum en Alemania; la Universidad Politécnica de Madrid, la Universidad Politécnica de Valencia y la Universidad de Salamanca en España; la Universidad de Miño en Portugal y las Universidad de Salerno y la Universidad de Roma La Sapienza en Italia. El tercer grupo alberga a aquellas instituciones que han participado en la redacción de una publicación. En total son 56 universidades entre las que figuran la Universidad de Florida en Estados Unidos, la Universidad de Nottingham en Inglaterra, la Universidad de Melbourne en Australia, la Universidad Politécnica de Cataluña en España, la Universidad de Osaka en Japón, entre otras.

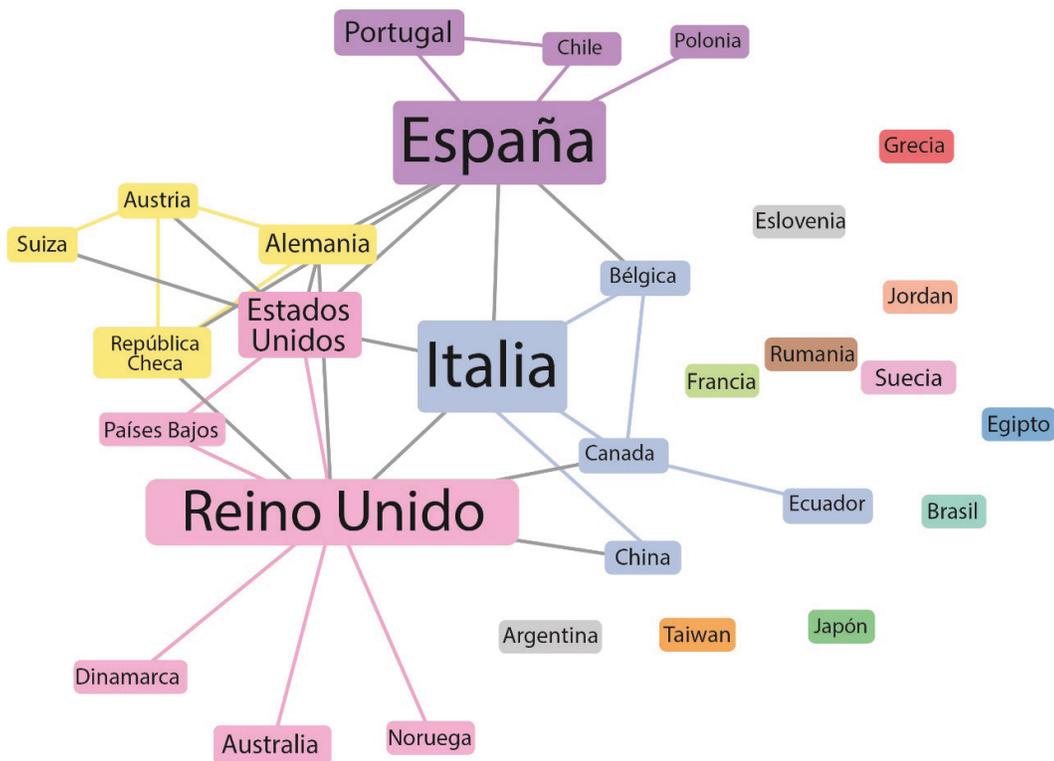


Figura 1. Principales clústeres. Gráfico elaborado con Bibliometrix, traducido y maquetado por Stephanny Dittel-Vega.

La figura 1 permite identificar aquellos clústeres o comunidades generadas por países que suelen realizar publicaciones en coautoría. La figura señala por color los clústeres identificados. La única comunidad generada por una relación de cooperación entre países es la de España e Italia, dos de los países con más publicaciones en total. Las restantes 21 comunidades son a lo interno de cada nación, siendo las más sobresalientes las del UK, China, Australia y EE. UU.

Principales autores

El análisis registra 151 autores, es decir, un promedio de 4.3 autores por documento. De esta lista resalta un grupo de 4 autores con 2 publicaciones cada uno. Ellos son Diego González-Aguilera y María Sánchez-Aparicio, ambos pertenecientes a la Universidad de Salamanca; Richard Laing de la Universidad Robert Gordon y Cettina Santagati de la Universidad de Catania. Todos los demás autores de la lista han participado únicamente en una publicación.

En cuanto al impacto de cada autor, si se toma en cuenta el índice h de cada uno, sobresale solamente Richard Laing con un índice h de 2. Laing es seguido por un grupo de 81 autores con un índice h de 1, mientras que los restantes 69 tienen un índice h de 0. Se entiende por índice h al parámetro que compara la cantidad de publicaciones de un autor con la cantidad de veces que ha sido citado en otros documentos. Más específicamente, una persona posee un índice h si h de sus N_p publicaciones tienen al menos h citaciones cada una, y las restantes publicaciones (N_p-h) no tienen más de h citaciones. [7]

Fuentes de publicaciones

El estudio muestra que 26 fuentes han publicado documentos relacionados al tema, siendo las más importantes *Automation in Construction* e *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, con 5 publicaciones cada una; seguidas por *Journal of Management in Engineering*, con 2 publicaciones. Todas las demás revistas registran solamente un documento.

Análisis por palabras clave

Bibliometrix permite obtener información sobre las palabras clave que se encuentran con mayor frecuencia en el corpus analizado. Dichas palabras facilitan la búsqueda de información en los textos, y permiten identificar temáticas recurrentes o en desarrollo. Mediante la herramienta *most frequent words* se obtienen las frecuencias con que aparecen estas palabras clave en los textos. En el cuadro 1 se muestran las diez palabras más frecuentes encontradas en los documentos analizados.

Cuadro 1. Principales palabras clave relacionadas a la búsqueda.

Palabras claves	Frecuencia
visualization	17
architectural design	14
information theory	9
3d modeling	6
augmented reality	6
case studies	6
decision making	6
information management	6
three dimensional computer graphics	6
virtual reality	6

Fuente: cuadro elaborado con *Bibliometrix*.

Según se muestra en el cuadro 1 las dos palabras clave que aparecen con mayor frecuencia son *visualization* y *architectural design*, seguidas por *information theory*. Esto sugiere el desarrollo de un campo tecnológico al servicio del diseño arquitectónico, que facilita tanto el registro de información como la forma en que se comunica para darle una aplicación. El resto de las palabras claves se refieren en gran medida a herramientas para lograr la visualización de la información y su uso, por ejemplo: *3d modeling*, *augmented reality*, *three dimensional computer graphics* y *virtual reality*. Un aspecto evidente en los resultados de este análisis es la ausencia de conceptos que hagan referencia directa al patrimonio, lo que demuestra una tendencia a aplicar la tecnología a obra nueva.

El gráfico de la figura 2 muestra el comportamiento de las palabras clave en el periodo en estudio. Las palabras que muestran un crecimiento constante son *visualization*, *case studies*, *virtual reality* y *decision making*. Estos datos confirman que la tendencia se dirige a explorar nuevas herramientas tecnológicas, no obstante al no aparecer directamente relacionadas con el patrimonio arquitectónico, evidencia un amplio campo para la aplicación de estas estrategias en la conservación.

CRECIMIENTO GLOBAL

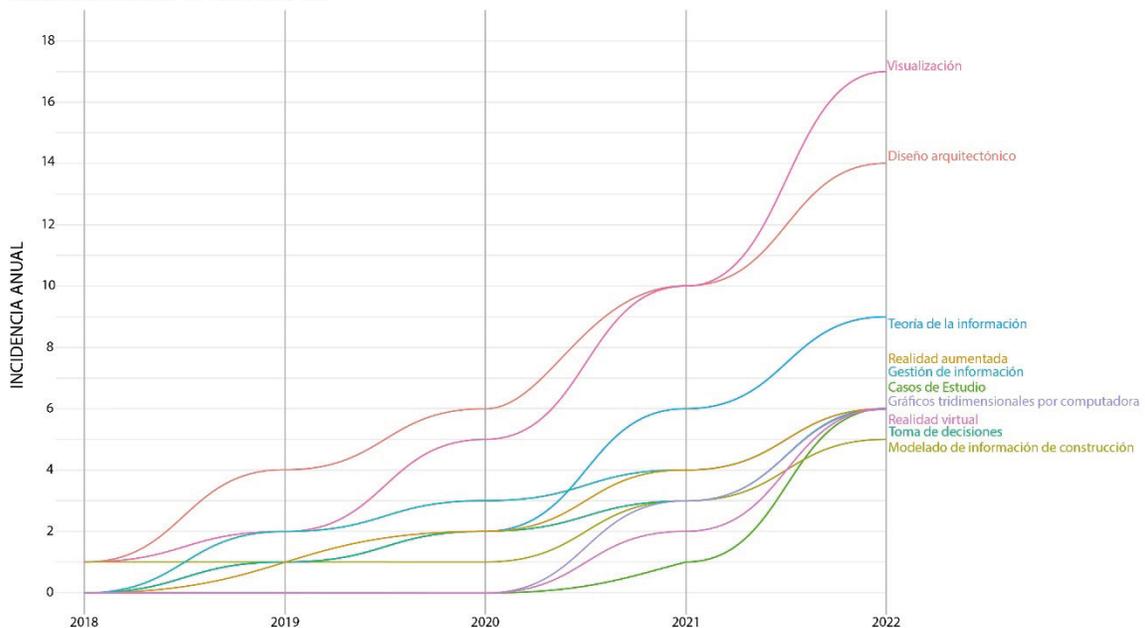


Figura 2. Aparición de las palabras clave en el periodo en estudio. Gráfico elaborado con *Bibliometrix*, traducido y maquetado por Stephanny Dittel-Vega.

Al igual que con las afiliaciones de los autores, las palabras clave también pueden identificar clústeres, cada uno organizado alrededor de una palabra principal. En el análisis realizado esas palabras son: *architectural design*, *visualization*, *historic preservation* y *case studies*.

El clúster con más palabras es el que se agrupa alrededor de *architectural design* y contiene conceptos como teoría de la información, gestión de la información, ciclo de vida, *building information modeling*, entre otras. En este caso, todas las palabras se vinculan a la gestión de la información en obra nueva, no obstante, este clúster se relaciona con uno más pequeño que corresponde a *historic preservation*. Esta relación muestra que existen investigaciones que están llevando la aplicación de la tecnología al campo de la conservación del patrimonio arquitectónico, pero de forma incipiente.

El tercer clúster se ubica alrededor del término *visualization* y engloba aspectos relacionados con estrategias como el modelado en tres dimensiones y la realidad aumentada. Precisamente del concepto de realidad aumentada se desprende otro clúster cuya palabra principal es *case studies*, que incluye otras herramientas como el escaneo y la fotogrametría. Es evidente que existe un interés por explorar la forma de aplicar estas herramientas al campo de la arquitectura, y, por ende, a la conservación.

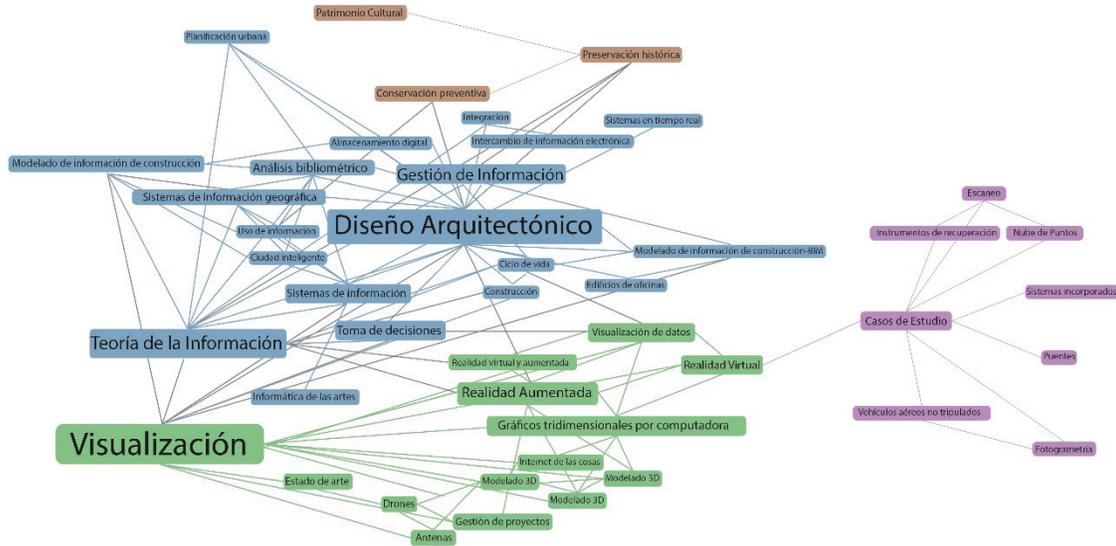


Figura 3. Red de palabras clave. Gráfico elaborado con *Bibliometrix*, traducido y maquetado por Stephanny Dittel-Vega.

Artículos más citados

Para profundizar en el análisis, se hizo una revisión de los artículos más citados a nivel global. En este caso, se entiende como cita la referencia bibliográfica incluida en un documento, que permite sustentar la propuesta que presenta el autor. A partir de los resultados que brinda *Bibliometrix*, se identificaron los siguientes diez artículos como los más citados, se muestran en un orden de mayor a menor según cantidad de citas:

1. “Web-GIS approach to preventive conservation of heritage buildings”, publicado en el año 2020 en la revista *Automation in Construction*, por los autores Luis Javier Sánchez-Aparicio, Maria-Giovanna Masciotta, Joaquín García-Alvarez, Luís F. Ramos, Daniel V. Oliveira, José Antonio Martín-Jiménez y Diego González-Aguilera. Tiene 29 citas, con un promedio de 9,67 citas por año.
2. “An historical building information modelling approach for the preventive conservation of historical constructions: Application to the Historical Library of Salamanca”, publicado en el año 2021 en la revista *Automation in Construction*, por los autores Rocío Mora, Luis Javier Sánchez-Aparicio, Miguel Ángel Maté-González, Joaquín García-Álvarez, María Sánchez-Aparicio y Diego González-Aguilera. Este artículo presenta 27 citas, con un promedio de 13,5 citas por año.

3. “Digital twin: a HBIM-based methodology to support preventive conservation of historic assets through heritage significance awareness”, de los autores Pierre Jouan y Pierre Hallot. El artículo fue publicado en la revista *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* en el año 2019, tiene 19 citaciones, con un promedio de 4,75 citaciones por año.
4. “The State of the Art of Spatial Interfaces for 3D Visualization”, publicado en el año 2021 en la revista *Computer Graphics Forum*. Los autores son Lonni Besançon, Anders Ynnerman, Daniel F. Keefe, Lingyun Yu y Tobias Isenberg. El artículo tiene 18 citaciones, con un promedio de 9 citaciones por año.
5. “Numerical Analysis of the Creep and Shrinkage Experienced in the Sydney Opera House and the Rise of Digital Twin as Future Monitoring Technology”, de los autores Faham Tahmasebinia, Daniel Fogerty, Lang Oliver Wu, Zhichao Li, Saleh Mohammad Ebrahimzadeh Sepasgozar, Kai Zhang, Samad Sepasgozar y Fernando Alonso Marroquin. El artículo fue publicado en el año 2019 en la revista *Buildings*, tiene 9 citaciones, con un promedio de 2,25 citaciones por año.
6. “Bibliometric analysis of Building Information Modeling, Geographic Information Systems and Web environment integration”, de los autores Danylo Shkundalov y Tatjana Vilutienė. El artículo fue publicado en 2021 en la revista *Automation in Construction*, tiene 6 citaciones, con un promedio de 3 citaciones por año.
7. “From digital models to numerical analysis for mechanised tunnelling: A fully automated design-through-analysis workflow” publicado en la revista *Tunnelling and Underground Space Technology*, en el año 2021. Los autores son Jelena Ninica, Abdullah Alsahlyb, Andre Vonthronc Hoang-Giang Bulb, Christian Kochd, Markus König y Günther Meschke. Este artículo tiene 6 citaciones, con un promedio de 3 citaciones por año.
8. “Interactive Holograms for Construction Coordination and Quantification”, de los autores Ralph Tayeh y Raja R. A. Issa. El artículo fue publicado en el año 2020 en la revista *Journal of Management in Engineering*. Tiene 6 citaciones, con un promedio de 2 citaciones por año.
9. “City Information Modelling as a support decision tool for planning and management of cities: A systematic literature review and bibliometric analysis” publicado en 2022 en la revista *Building and Environment*, la autora es Leticia Souza. Este artículo tiene 5 citaciones, todas en un año.
10. “Historical sentient – Building Information Model: a digital twin for the management of museum collections in historical architectures”, de los autores Federico Mario La Russa y Cettina Santagati. El artículo fue publicado en 2020 en la revista *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Tiene 4 citaciones, con un promedio de 1,33 citaciones por año.

Estas publicaciones permiten identificar temas que están actualmente en desarrollo en la academia. El análisis por cantidad global de citaciones muestra cuatro artículos que se ubican en las siguientes líneas temáticas: los dos artículos con más citaciones pertenecen al campo de la aplicación de la tecnología a la conservación preventiva. El tercer artículo con más citaciones desarrolla el tema de los modelos digitales, el cuarto artículo analiza la representación en tres dimensiones.

Por otra parte, se analizó el promedio de citaciones correspondientes al periodo aplicado en la búsqueda, es decir, entre el año 2019 y el año 2022. El segundo artículo de la lista, que trata del modelado de información de edificios históricos para la conservación preventiva, es el artículo

con el promedio más alto de citas, con 13,5 citas por año. El segundo artículo con mayor promedio de citas es el primero de la lista, presenta 9,67 citas anuales y aborda el tema del Web-GIS aplicado a la conservación preventiva de edificios históricos.

Estructura conceptual (mapa temático)

Otra de las opciones de estudio de datos que se desprenden del análisis bibliométrico es la estructura conceptual, específicamente el mapa temático (ver figura 4). El análisis identificó clústeres según la relación entre el grado de relevancia (eje x) y el grado de desarrollo (eje y), conformando los siguientes cuadrantes: temas nicho (alto desarrollo, poca relevancia), temas motores (alto desarrollo, alta relevancia), temas básicos (poco desarrollo, alta relevancia) y temas emergentes o decadentes (poco desarrollo y poca relevancia).

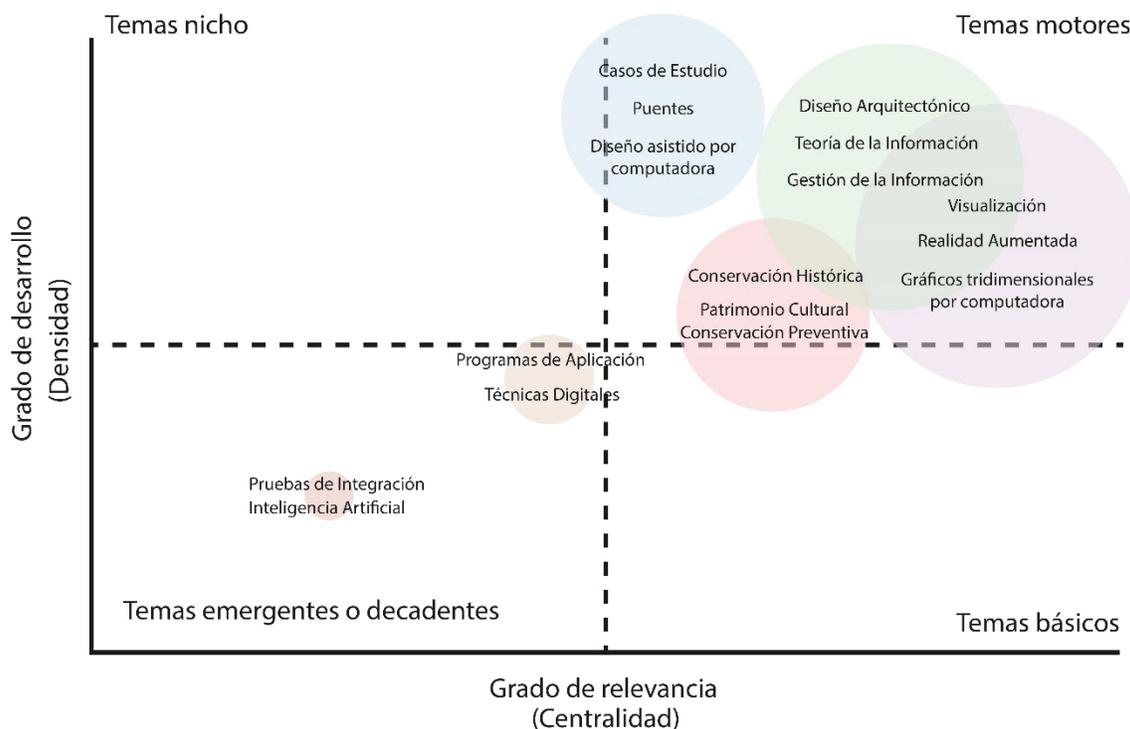


Figura 3. Mapa temático. Gráfico elaborado con Bibliometrix, traducido y maqueteado por Stephanny Dittel-Vega.

Específicamente en el cuadrante de temas emergentes o decadentes, los clústeres de temas ubicados por encima de la media del cuadrante superior derecho o cercanos a la intersección entre los ejes x-y, se consideran temas emergentes. Para el proyecto de investigación es relevante el hecho que dentro de los temas emergentes se contempla los clústeres compuestos por: programas de aplicación y técnicas digitales, seguido por: pruebas de integración e inteligencia artificial, ya que demuestra la pertinencia del proyecto al vincular los temas mencionados con el GD. Dichos clústers muestran una tendencia creciente dentro de las publicaciones científicas, aunque para la fecha de cierre de este análisis, presenten poco desarrollo en comparación con los analizados anteriormente.

Conclusiones y recomendaciones

La producción científica, indexada en *Elsevier Scopus* y relacionada a los campos de interés para el proyecto investigación, se ha desarrollado principalmente en Europa, Italia y España conforman los principales clústeres y registran trabajos de investigación colaborativa entre

instituciones de ambos países. En el caso de países como UK, China, Australia y EE. UU., sus investigaciones se han realizado de manera colaborativa entre instituciones con alcance nacional.

Para el equipo de investigación existe la posibilidad de establecer vínculos entre los países que se encuentran desarrollando trabajos en la temática abordada con el proyecto. Además, se podrían plantear nuevas propuestas que involucren equipos multidisciplinares con vinculación internacional.

América Latina no registra investigaciones dirigidas a los temas relacionados con el presente estudio para el periodo analizado. La ausencia de este tipo de producción científica en la región latinoamericana denota que no existe una apropiación en el uso de tecnología relacionada con BIM para el desarrollo de GD aplicada a proyectos de interés patrimonial. Esta situación abre la oportunidad para la generación de propuestas innovadoras dirigidas a llenar este vacío, así como al desarrollo de un nuevo nicho de mercado en la región.

Se identifica que la visualización de información, así como la gestión y toma de decisiones en los inmuebles, son las aplicaciones más frecuentes en las que se han empleado modelos digitales durante los últimos dos años. Además, mientras que para los años entre 2018 y 2021 la tendencia en el uso de modelos digitales y metodología BIM era en la toma de decisiones, el diseño arquitectónico y el manejo de datos, durante el 2022 el diseño arquitectónico se ha visto desplazado por las aplicaciones en el patrimonio cultural y han emergido nuevos usos como la visualización y la implementación de herramientas digitales en casos de estudio determinados.

El cambio en el uso de estos modelos evidencia la evolución en la aplicabilidad de la tecnología y en el paradigma del BIM como metodología empleada para obra nueva, pasando a ocupar los primeros lugares cuando de estudio de bienes patrimoniales se trata. Nos encontramos, en una nueva fase de generación de aplicaciones tecnológicas al servicio del patrimonio tangible, que integra a los modelos digitales como herramienta para su gestión. Las lecciones aprendidas de los casos de estudio abordados por las publicaciones reseñadas, abren la oportunidad de apropiarse de la tecnología y extrapolarla a nuevos contextos, enriqueciéndola con otras aplicaciones y evolucionando para su mejora.

Por otra parte, se determinó que, si bien dentro de la producción científica existe la conceptualización del GD de obras patrimoniales, se evidencian pocos casos de aplicación de este y, por tanto, del desarrollo de la herramienta. En este sentido, es necesario que se planteen nuevas investigaciones que aborden su desarrollo y potencien la implementación de esta tecnología al servicio del patrimonio arquitectónico y que, al mismo tiempo, permitan perfeccionar las herramientas y los protocolos durante su aplicación.

El área de potencial desarrollo de GD se centra en el desarrollo de plataformas de software que permitan la gestión del bien inmueble con protocolos de conservación programada, donde se permita ver los flujos de trabajo. Por otro lado, se presenta como reto determinar la manera de llevar las iniciativas de desarrollo de GD al mercado, para que estas trasciendan el ámbito académico y de producción científica; es decir, que se alcance la implementación en los campos profesionales. Si bien las investigaciones se han llevado a cabo principalmente en universidades, estas han sido dentro de grupos especializados, por tanto se presenta como un reto la aplicación de estas tecnologías dentro de la docencia.

Como se mencionó anteriormente, el análisis encontró un máximo dos publicaciones por investigador, esto muestra que, en general hay pocos especialistas en el tema de GD, por tanto, se considera al desarrollo de Gemelos Digitales como una disciplina en desarrollo y con amplias posibilidades por explorar.

Por último, el análisis de múltiples bases de datos integradas podría reforzar los resultados obtenidos por el presente análisis bibliométrico obtenido con *Bibliometrix*, o bien ampliar el espectro de países donde se haya generado publicación científica respecto del tema de Gemelos Digitales en el ámbito patrimonial. Esto sin duda, formaría parte de exploraciones futuras.

Referencias

- [1] P.A. Jouan & P. Hallot, “*Digital Twin: A HBIM-based methodology to support preventive conservation of historic assets through heritage significance awareness*”. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and spatial Information Sciences*, 42, pp. 609-615, 2019. doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-609-2019>. [Online] Available: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-2-W15/609/2019/>
- [2] M. Grieves & J. Vickers, “*Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems*”, *Transdisciplinary perspectives on complex systems*, Springer, Cham, pp. 85-113, 2017. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-38756-7_4
- [3] E. Dezen-Kempton, D.L. Mezencio, E.D.M. Miranda, D.P. De Sá, & U. Dias, “*Towards a Digital Twin for Heritage Interpretation-from HBIM to AR visualization*”, *Anthropocene, Design in the Age of Humans - Proceedings of the 25th CAADRIA Conference - Volume 2*, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, pp. 183-191, 5-6 August 2020. doi: <https://doi.org/10.52842/conf.caadria.2020.2.183>. [Online]. Available: http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/caadria2020_141
- [4] J.P. Bulgarelli-Bolaños, R.E. Malavassi-Aguilar, I. Hernández-Salazar, E. Salazar-Ceciliano, & M. Carranza-Solano, “*Diagnóstico de las fases de ejecución, cierre y conservación programada en los proyectos de intervención de bienes inmuebles patrimoniales en Costa Rica*”, Instituto Tecnológico de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2021. Revisado: agosto 15, 2022. [En línea]. Accesible: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/13322>
- [5] M. Aria & C. Cuccurullo, “*Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis*”, *Journal of informetrics*, 11(4), 959-975. 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1751157717300500?via%3Dihub>
- [6] D. Torres-Salinas (2020). *Bibliometrix: Primeros pasos y técnicas avanzadas con BiblioShiny App* [Documento PDF]. Accesible: 10.5281/zenodo.4327614, 2020
- [7] J. E. Hirsch, “*An index to quantify an individual's scientific research output*”, *Proceedings of the National academy of Sciences*, vol. 102, n.o 46, pp. 16569-16572, 2005. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0507655102>. [Online]. Available: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.0507655102>