ANÁLISIS DE LA INTEGRACIÓN DE BIM CON LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG): CIUDADES INTELIGENTES PARA LA DIGITALIZACIÓN GLOBAL

NELSON CASTAÑO CIRO [1]

RESUMEN

Se conoce al gran auge que está teniendo la metodología BIM en el sector de la construcción ayudando a esta área al ingreso de su digitalización. También se nota, de manera paralela, como también los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ayudan a digitalizar la geografía de alguna región. La pregunta que surge es cómo se complementan estas dos herramientas para que aunadas confluyan en una sinergia en beneficio de la comunidad. Este documento detalla como se integran BIM y SIG, y el aporte que hacen en muchas áreas entre las que se encuentran; estudio de inundaciones de ciudades, seguimiento a construcción de represas, digitalización de redes hidráulicas, seguimiento a desechos municipales, entre otros. Al final se dan algunas conclusiones sobre lo positiva que ha resultado esta sinergia BIM-SIG.

Palabras clave: BIM; SIG; topografía; ciudad inteligente Convocatoria, publicidad, asistencia, proyectos

ABSTRACT

The great boom that the BIM methodology is having in the construction sector is known, helping this area to enter its digitization. It is also noted, in parallel, how Geographic Information Systems (SIG) help to digitize the geography of some region. The question that arises is how these two tools complement each other so that together they come together in a synergy for the benefit of the community.

This document details how BIM and SIG are integrated, and the contribution they make in many areas, among which are; study of city floods, monitoring of dam construction, digitalization of hydraulic networks, monitoring of municipal waste, among others. At the end, some conclusions are given about how positive this BIM-SIG synergy has been.

Keywords: BIM; SIG; topography ; smart city

1. *Ingeniero Químico, Sena, Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción, ncastano@sena.edu.co, Medellín.*

1. INTRODUCCIÓN

En los años 80´s y 90´s, CAD y SIG (Dibujo Asistido por Computador y Sistemas de Información Geográfica respectivamente, de sus siglas en inglés) surgieron como alternativas tecnológicas competitivas para los profesionales con necesidades de información espacial, que en su época se procesaba en papel. En ese entonces había limitaciones de software y de hardware para la elaboración y el análisis de mapas. CAD y SIG eran versiones superpuestas para trabajar con geometría y datos para producir documentación en papel (Esri, 2019).

Actualmente, el papel está pasando a segundo lugar con la llegada y la implementación de la metodología BIM (Building Information Modeling o Modelado de la Información de las Edificaciones), los diseños en 2D pasan a modelos digitales en 3D en donde lo importante es la riqueza de la información de las entidades que contiene el modelo de la edificación. De forma paralela, las tecnologías desarrolladas para SIG han progresado vertiginosamente en los últimos años. Con el paso de los años se han creado bases de datos espaciales para los sistemas SIG con el fin de proporcionar información sobre grandes espacios y áreas fuera de los edificios. De otro lado, la tecnología asociada a la metodología BIM está enfocada principalmente en espacios pequeños, interiores y exteriores, dirigida a otros usuarios y aplicaciones ligeramente diferentes (Song et al., 2017).

El importante desarrollo de la tecnología SIG y las nuevas herramientas para la adquisición rápida de datos (p. ej., escaneo láser) y las crecientes necesidades de los usuarios dieron como resultado también el modelado de geoinformación del espacio interior de los edificios. BIM, por otro lado, comenzó a usarse para espacios cada vez más grandes fuera de los edificios. Los desarrolladores de tecnología, los usuarios y los científicos comenzaron a notar que los trabajos resultaron ser repetitivos y que era necesario combinar dos tecnologías diferentes; sin embargo, no es sencillo (Wyszomirski & Gotlib, 2020). Entre las dificultades, la incompatibilidad de datos es el más importante, ya que los datos BIM y SIG se crean, gestionan, analizan, almacenan y visualizan de diferentes maneras en términos de sistemas de coordenadas, ámbito de interés y estructuras de datos (Zhu et al., 2018). Aunque la metodología BIM permite la interoperabilidad de diferentes actores en un proyecto de construcción mediante un formato universal llamado IFC (International Foundation Class), no es claro aún como es su uso, su jerarquía y como incorporar lFC a la información de referencia espacial (Zhu & Wu, 2021), (Biljecki & Tauscher, 2019), (Karan et al., 2016) y (Noardo et al., 2020).

Lo más aproximado y normalizado que se tiene entre estos dos conceptos, es la norma ISO/TS 19166:2021 “Información geográfica — Mapeo conceptual BIM a SIG (B2GM)”, pero esta misma dice que no describe la integración completa de BIM y SIG debido a su complejidad, por lo que la norma, globalmente, se ocupa solo de establecer definiciones y conceptos relacionados.

Sin embargo, a pesar de todos los inconvenientes presentados anteriormente, BIM y SIG están ganando credibilidad en proyectos complejos y de gran envergadura (United BIM, 2022) como por ejemplo las ciudades inteligentes (Ma & Ren, 2017), (Kang et al., 2016) y (Demir Altıntaş & Ilal, 2021), en la sostenibilidad (H. Wang et al., 2019) y (Pal, 2021) en el uso y control del suelo (Andrianesi & Dimopoulou, 2020), en emergencias de los edificios (Modeling, 2020) entre otros. La figura 1 muestra cómo se integran BIM y SIG desde la planeación, el diseño, la construcción y la entrega de la edificación con la metodología BIM, con SIG permitirá el manejo del activo, monitoreo y los permisos y normativas vigentes.

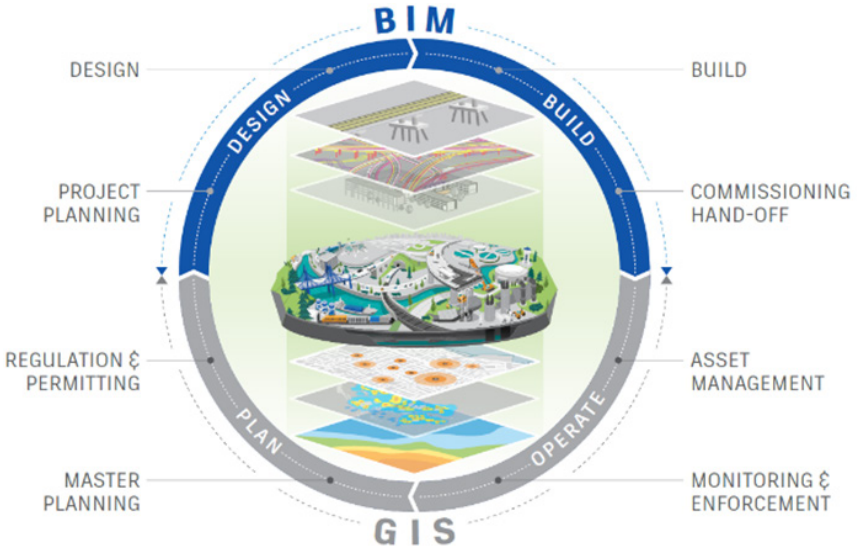

Figura 1. *Gráfico demostrativo sobre la integración de BIM con SIG (United BIM, 2022).*

En este artículo se presentan algunos avances de la integración de BIM con SIG, y de cómo se produce una sinergia mejorando el flujo de información (Kennedy, 2020) y (Modeling, 2020), en campos como, por ejemplo, en las inundaciones en las ciudades, monitoreo de temperatura, control de desechos municipales, redes viales, eficiencia energética, hidrogeología, ciudades inteligentes, entre otros.

2. METODOLOGÍA

El presente trabajo es una investigación de revisión, donde se hace un análisis de ten-dencias de la articulación BIM-SIG en las ciudades. En la figura 2 se puede notar claramente un crecimiento exponencial de esta sinergia en los últimos 10 años, no sólo de las investigaciones, sino también del gran uso de las industrias de la construcción en la integración de estas metodologías de la industria 4.0 en sus actividades.

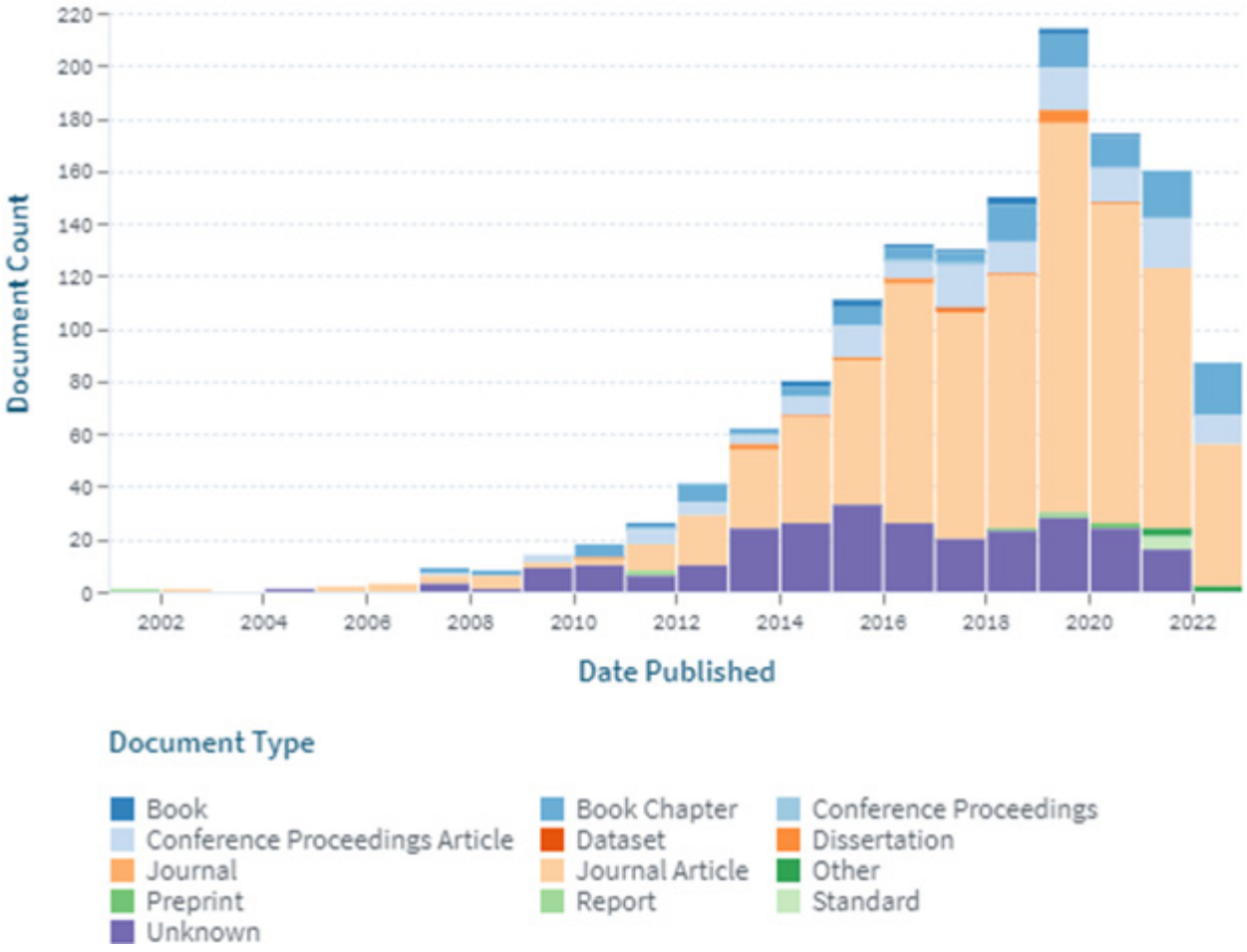

Figura 2. *Trabajos realizados sobre la integración de BIM-SIG en los últimos 10 años. Tomado de la base de datos Lens.*

3. RESULTADOS

La información encontrada en la literatura es bastante extensa, por lo que se dividió en los temas que se detallan a continuación.

3.1 BIM-SIG en Redes viales

Se encontró en esta sección, un estudio de revisión de literatura sobre la aplicación de BIN SIG en el diseño de puentes. Algunos levantan modelos sobre puentes construidos para detectar posibles fallas y, eventualmente corregirlas. Otros solamente los modelan y hacen simulaciones sobre capacidad de operación ante diferentes situaciones. Sin embargo, los hallazgos apuntan a la aplicación segregada de BIM y SIG en todas las fases de los proyectos de puentes. Los hallazgos de este estudio contribuirán a guiar a los profesionales en la selección de tecnologías BIM y SIG apropiadas para diferentes aspectos de los proyectos de puentes (Wei et al., 2021).

Otro estudio revela la falta de alineación de carreteras desde la planificación, para lo cual propone una serie de algoritmos genéticos para optimizar las alineaciones de carreteras. Se desarrolla un modelo completamente automatizado que permite la interoperabilidad de datos entre los sistemas BIM y SIG y también permite el intercambio de datos entre el modelo de integración y el algoritmo de optimización. (Zhao et al., 2019) y (Hor et al., 2018). Otra investigación similar ilustra un procedimiento de dos pasos en el que las carreteras se detectan y clasifican automáticamente, proporcionando capas SIG con geometría básica de carreteras que se convierten en objetos BIM paramétricos aplicando datos LiDAR. Esto hace que la generación del BIM-SIG sea más flexible y no se limite al uso de algoritmos específicos para el procesamiento de nubes de puntos (Luigi Barazzetti et al., 2020). Otros autores aplican BIM SIG para apoyar la seguridad vial y contribuir a disminuir la probabilidad de accidentes de coche en general y de coche bicicleta en particular. (El Mekawy et al., 2021).

De otro lado, otras investigaciones apuntan al mejoramiento de las redes ferroviarias, en donde se construye un sistema que se pueda utilizar en diferentes fases del proceso: la vinculación de los datos resultantes de BIM y SIG hace posible el desarrollo de un modelo virtual federado utilizado como fuente única de verdad para el desarrollo de proyectos y la gestión de activos (Garramone et al., 2022).

3.2 BIM-SIG en eficiencia energética

El rendimiento energético de un edificio está significativamente influenciado por su entorno construido externo. Sin embargo, en las prácticas de diseño actuales, el diseño energético y la simulación de un edificio a menudo se llevan a cabo independientemente de los edificios circundantes y del paisaje energético de la comunidad o ciudad. Existe una brecha entre el diseño de edificios de bajo consumo energético y la planificación energética a nivel urbano. Los investigadores (Niu et al., 2015) hicieron un desarrollo de aplicación de BIM SIG para facilitar el trabajo colaborativo entre los dos procesos de planificación energética a nivel urbano y diseño energético a nivel de edificios mediante la adopción de un enfoque de diseño energético holístico. El uso de este sistema contextualiza el diseño de edificios de bajo consumo energético en el panorama energético urbano. El documento también detalla las soluciones para la conversión de datos, que es el principal desafío para integrar BIM y SIG, y describe los mecanismos de visualización (Niu et al., 2015).

Japón es uno de los países que enfrenta un gran reto de la gran demanda energética debido a su crecimiento poblacional. Yamamura y colaboradores proponen un sistema de planificación de energía urbana basado en “SIG-BIM” para acceder a la solución técnica y política óptima para reajustar la infraestructura de la ciudad más allá del análisis integrado. La investigación propone un sistema de planificación de energía urbana basado en SIG-BIM mediante el diseño óptimo del sistema de energía con la ayuda de BIM y la visualización en 3D con una interfaz fácil de usar. (Yamamura et al., 2017).

También se encontró una investigación de la aplicación de SIG en el modelamiento de las celdas solares fotovoltaicas de acuerdo a la región geográfica. Usando la ubicación (p. ej., carreteras, lagos, ríos), la producción mensual de energía solar y los datos orográficos (p. ej., pendientes), se identifican las regiones adecuadas con el análisis geoespacial; luego, se evalúa la cantidad de energía que se puede generar en las regiones. Para los sitios propuestos, las condiciones de la superficie y los sistemas fotovoltaicos potenciales se transforman y visualizan en un entorno BIM. Por lo tanto, este estudio puede ayudar a identificar sitios óptimos para plantas fotovoltaicas en las áreas no utilizadas cerca de las carreteras (Heo et al., 2021).

3.3 BIM-SIG en la agricultura

La evaluación de la idoneidad de la tierra de una cuenca dada es vital para predecir el potencial y la limitación de la tierra para el riego superficial. En la investigación de Weldeabzgi & Ketema, evalúan la idoneidad de la cuenca del río Gudina Wacho para el desarrollo del riego superficial utilizando un enfoque de evaluación paramétrica. Se tomaron muestras de suelo de pozos de perfil para analizar las propiedades físicas y químicas de cada suelo seleccionado. Los resultados de la evaluación de la idoneidad de la tierra para el riego por superficie mostraron que un área total de 3064 ha (72,6 %) era ligeramente apta y una superficie de 1154 ha (27,4 %) no era apta actualmente. Los factores limitantes fueron la pendiente, la textura del suelo y el drenaje. Lo anterior da a entender la importancia del uso de SIG para predecir el comportamiento de un terreno para la agricultura y no morir en el intento (Weldeabzgi & Ketema, 2021).

3.4 BIM-SIG en ciudades inteligentes.

La ciudad inteligente (Smart City) se ha convertido en la actualidad en un tema muy popular no solo en los países desarrollados sino también en los países en desarrollo. Hay una variedad de definiciones de ciudad inteligente en diferentes campos y regiones. En general, apunta a un desarrollo sostenible de la ciudad a través de la gestión óptima de los recursos y potencialidades, ofreciendo una calidad de vida integralmente superior a los ciudadanos. La planificación del sistema energético del área es uno de los temas más importantes, que está relacionado con la generación de energía, el consumo de energía por parte de las instalaciones, el sistema de transporte y cualquier otra infraestructura de la ciudad. Con el avance y la exploración continuos de la ciencia y la tecnología, la tendencia futura de la tecnología energética será la integración profunda de la digitalización, la creación de redes y la inteligencia con las aplicaciones energéticas. La creciente madurez de las tecnologías digitales, como Internet de las Cosas, Big Data y la computación en la nube, ha dado lugar a la creación y uso de una potencial tecnología Digital Twin o gemelo digital. (Y. Wang et al., 2022), (Lehtola et al., 2022) y (Ervin & Fasla, 2016). Otros autores hacen también estudios sobre modelos digitales, pero se enfocan en la estandarización de los diferentes modelos mediante un formato común para todos: el Industry Foundation Classes (IFC) a shapefile mediante la integración de una técnica de gráficos por computadora.

Utilizan trece modelos de edificios para validar el método propuesto. Este estudio puede facilitar el uso de información BIM en SIG y beneficiar los estudios que trabajan en gemelos digitales y ciudades inteligentes donde los modelos de construcción deben procesarse e integrarse en SIG, o cualquier otro estudio que necesite manipular la geometría IFC en profundidad (Computer & Technique, 2021) y (Profile, 2014).

De otro lado, investigadores usan BIM SIG para capturar los detalles del proyecto en un modelo sólido que puede incluir gráficos sobre el activo del mundo real diseñado junto con metadatos ricos para compras, programación e incluso simulación de cómo se pueden comportar los activos en su entorno después de la construcción. BIM se ha convertido en el proceso para aumentar la eficiencia y ahorrar costos mediante la creación y el uso colaborativo de información detallada sobre los activos construidos a lo largo de su ciclo de vida (Andrews & Product, 2018).

3.5 BIM-SIG en manejo de aguas.

Existe un estudio interesante donde hacen un análisis de diseño de las redes de servicios públicos en la parte urbana, dado que en muchas ciudades el mundo existe redes en donde su infraestructura se encuentra deteriorada. Con este desarrollo se logra optimizar la partición dinámica de la red, reducir el riesgo de cortes de servicios públicos subterráneos y planificar futuras configuraciones de red con mayor redundancia topológica (Gilbert et al., 2021).

También se utilizó la integración de BIM SIG en un modelo de inundación de la ciudad de París, creado con varias fuentes de datos y captura de la realidad, se construyó para realizar un análisis crítico que podría usarse para informar y tomar decisiones de diseño. Uno de esos análisis ayuda a identificar las áreas con mayor probabilidad de verse afectadas por las inundaciones. La realización de simulaciones prácticas de inundaciones costeras y ribereñas ayuda a determinar evaluaciones preliminares de riesgo de inundación en llanuras aluviales urbanas y áreas costeras (Autodesk Inc, 2020). La figura 3 muestra la parte final de esta simulación. Un estudio similar hacen los investigadores Amirebrahimi y colaboradores (2016).
Las redes de servicios públicos constituyen una parte fundamental de nuestros complejos sistemas urbanos y la integración de representaciones digitales de estas redes en múltiples escalas espaciales se puede utilizar para ayudar a abordar los desafíos más apremiantes.

El deterioro de la infraestructura de servicios públicos de agua da como resultado la fragilidad de la red y, por lo tanto, cortes de suministro cuando fallan. Las configuraciones de la red de distribución de agua se pueden optimizar para una mayor resiliencia, pero las representaciones digitales de las redes utilizadas para simulaciones y análisis no se integran con las redes dentro de los edificios. Los investigadores Gilebert y colaboradores (2021) en su estudio hacen una modelación en donde hay una conexión y comunicación de redes de aguas de edificios con la red urbana municipal para optimizar la partición dinámica de la red, reducir el riesgo de cese de servicios públicos subterráneos y planificar futuras configuraciones de red con mayor redundancia topológica.

Figura 3. *Simulación de la inundación de la ciudad de Paris. Tomado de (Autodesk Inc, 2020)*

Otra aplicación de BIM SIG con el recurso hídrico, fue encontrar agua subterránea en aquellas zonas donde es escaso este recurso, mediante la aplicación de software especializado combinado con SIG, tomando en cuenta factores como pluviosidad anual, evaporación anual, la transmisividad de las formaciones de acuíferos, la topografía, la distancia desde el mar, la distancia desde las fuentes de agua, la densidad de población, y valores de extracción en el radio de influencia de los pozos de estudio (Gholami, 2022).

Otra de tantas aplicaciones es en el diseño y construcción de una represa. Durante el periodo de construcción, el sistema de gestión digital del proyecto de unión hidroeléctrica del Río Narin Gol tenía las siguientes funciones (SuperMap, 2021): gestión y análisis del progreso, análisis del progreso, evaluación de la calidad:, gestión de los cambios y vigilancia de la seguridad. En ese sentido hay un monitoreo permanente en su construcción y se compara con la planificación proyectada.

Esto permitió establecer tiempos de entrega y costos asociados.

3.6 BIM- SIG en manejo de residuos mu-nicipales.

Uno de los problemas de las construcciones es el suelo excavado, que es cada vez mayor de este tipo de proyectos y afecta de manera negativa el desarrollo sostenible de las megaciudades en todo el mundo. La integración de BIM-SIG-IoT logra un reciclaje científico y razonable para el suelo excavado. El sistema gestiona la información del gobierno, los desarrolladores, las empresas de construcción, las empresas de transporte y las instalaciones de reciclaje para cumplir con los requisitos de comunicación específica, análisis, toma de decisiones y preparación del plan de reciclaje del proyecto de excavación. El sistema hace un excelente uso de la rica información almacenada en los modelos de información digital, puede crear un mapeo de los datos de entrada requeridos por la aplicación o convertir automáticamente el modelo básico para facilitar el análisis específico. Este sistema no solo puede servir como una herramienta de simulación de proyectos de excavación antes de la construcción, sino también como una herramienta para reciclar el suelo excavado y evaluar los costos. (Huang et al., 2022).

De otro lado, la integración de BIM SIG es usado para la gestión de los residuos municipales. En la ciudad de Xiamen (China) se utilizó esta integración para la selección más adecuada para la disposición de esta clase de residuos, haciendo un filtro de tierras inadecuadas por SIG (C. Wang et al., 2022).

Algo similar se hizo en la ciudad de Najran en Arabia Saidita (Elkhrachy, 2022) y en Kigali, capital de Ruanda (Iraguha et al., 2022) . Otra investigación aplica también el SIG para la caracterización de los desechos municipales y sus tendencias. Con esta información se pudo prever la potencialidad que tendrían estos residuos para reciclaje, pero también orientado a un plan adecuado de gestión de desechos sólidos para reducir el riesgo de degradación ambiental y proteger la salud humana. (Mahmood et al., 2018).

3.8 Otras aplicaciones de BIM-SIG

En la literatura consultada se encontró bastante información relacionada con el uso de BIM-SIG, además de los grupos anteriormente discutidos. Uno de ellos es su aplica-ción en el estudio de rocas de sitios nombrados como patrimonio nacional, en donde se construyen modelos en 3D usando SIG, lo anterior con el objetivo de construir una base de datos del patrimonio nacional de este tipo de construcciones (Pepe et al., 2021). Algo parecido hacen otros investigadores, pero aplicado a levantar en 3D edificios históricos con el ánimo de procurar su preservación, identificando posibles fallas de deterioro para subsanarlas, como se puede apreciar en la figura 4 (L. Barazzetti, 2021).

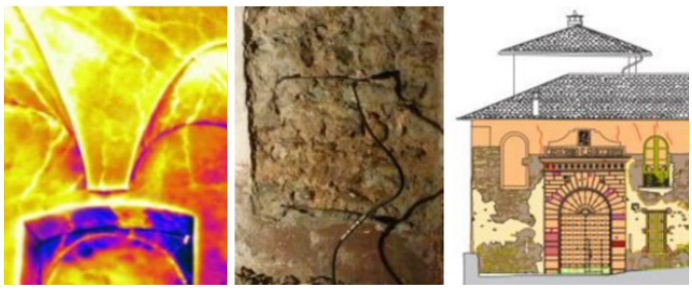

Figura 4. *Termografía que muestra grietas en el edificio. To-mado de (L. Barazzetti, 2021)*

Otro estudio arroja resultados de análisis de sombras, usando el modelo realizado con la metodología BIM, al cual le aplican SIG para medir el impacto ambiental y de sostenibilidad de las construcciones en la zona. En la figura 5 muestra que también hacen estudios de las sombras generadas por especies vegetales (Rafiee et al., 2014).

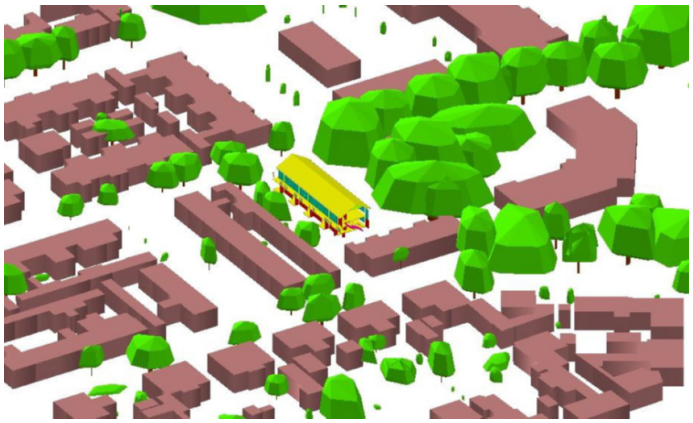

Figura 5. *Estudio de análisis de sombras de construcciones y especies vegetales. Tomado de (Rafiee et al., 2014)*

También se encontró la aplicación de BIM, SIG, IoT, y AR/VR en el mantenimiento y la gestión de las redes viales (Carneiro et al., 2019); uso de BIM SIG en el estudio de la obesidad de las personas, con lo cual analizan el desplazamiento desde su hogar hasta su sitio de trabajo (Thornton et al., 2011); BIM SIG en el sistema de gestión de servicios públicos subterráneos para operaciones de movimiento de tierras (Sharafat et al., 2021); mediante BIM SIG y un software de evacuación, modelan la salida del personal de bomberos de edificios en alguna eventualidad, indicando las falencias a mejorar en este tipo de situaciones (Liu et al., 2021); BIM SIG en aplicación de recuperación de viviendas ante desastres naturales (Meyer & Hendricks, 2018); BIM SIG aplicado al estudio de la sostenibilidad en las obras de construcción (D'Amico et al., 2020). Y por último, pero no menos importante, y tampoco significa que haya más, se encuentra la aplicación de BIM SIG en la detección de problemas geométricos y topológicos de una construcción (Ohori et al., 2017).

4. CONCLUSIONES Y/O DISCUSIO-NES

No queda más que concluir que la integración de BIM con SIG ha traído sólo grandes beneficios. Si bien es cierto que la metodología BIM tiene un gran aporte al sector de la construcción, que la está llevando de una era de papel a la era digital, y que SIG también ha hecho sus aportes valiosos a la geodesia y la topografía llevándola de igual modo a la industria 4.0, parecía extraño que no hubiese comunicación entre estas dos grandes herramientas, pero los estudios demostraron que en los últimos 10 años, como se evidenció en la figura 2, esta integración se ha venido dando en beneficio de la sociedad.

REFERENCIAS

Amirebrahimi, S., Rajabifard, A., Mendis, P., & Ngo, T. (2016). A framework for a microscale flood damage assessment and visualization for a building using BIM – SIG integration. International Journal of Digital Earth, 0(0), 1–24. https://doi.org/10.1080/17538947.2015.1034201

Andrews, B. C., & Product, E. (2018). SIG and BIM Integration Leads to Smart Communities. file:///D:/Articulos/BIM SIG/Redes viales/SIG-and-BIM-Integration-Leads-to-Smart-Cmmty.pdf

Andrianesi, D. E., & Dimopoulou, E. (2020). AN INTEGRATED BIM-SIG PLATFORM for REPRESENTING and VISUALIZING 3D CADASTRAL DATA. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 6(4/W1), 3–11. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-VI-4-W1-2020-3-2020

Autodesk Inc. (2020). BIM_SIG Integration. https://www.autodesk.com/solutions/bim/explore-civil-infrastructure/bim-SIG-ebook/thank-you

Barazzetti, L. (2021). INTEGRATION between BUILDING INFORMATION MODELING and GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM for HISTORIC BUILDINGS and SITES: HISTORIC-BIM-SIG. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 8(M-1–2021), 41–48. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-VIII-M-1-2021-41-2021

Barazzetti, Luigi, Previtali, M., & Scaioni, M. (2020). Roads Detection and Parametrization in Integrated BIM-SIG Using LiDAR. Infrastructures, 5(7). https://doi.org/10.3390/infrastructures5070055

Biljecki, F., & Tauscher, H. (2019). Quality of BIM-SIG Conversion. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, IV/4/W8(September), 35–42.

Carneiro, J., Rossetti, R. J. F., Silva, D. C., & Oliveira, E. C. (2019). BIM, SIG, IoT, and AR/VR Integration for Smart Maintenance and Management of Road Networks: A Review. 2018 IEEE International Smart Cities Conference, ISC2 2018. https://doi.org/10.1109/ISC2.2018.8656978

Computer, I., & Technique, G. (2021). Towards Effective BIM / SIG Data Integration for Smart City by Integrating Computer Graphics Technique.

D'Amico, F., Calvi, A., Schiattarella, E., Prete, M. Di, & Veraldi, V. (2020). BIM and SIG Data Integration: A Novel Approach of Technical/Environmental Decision-Making Process in Transport Infrastructure Design. Transportation Research Procedia, 45, 803–810. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.090

Demir Altıntaş, Y., & Ilal, M. E. (2021). Loose coupling of SIG and BIM data models for automated compliance checking against zoning codes. Automation in Construction, 128(March). https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103743

El Mekawy, M., Issa, M., & Perjons, E. (2021). BIM-SIG INTEGRATION for TRAFFIC SAFETY in CITIES. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 8(4/W2-2021), 161–166. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-VIII-4-W2-2021-161-2021

Elkhrachy, I. (2022). Solid Waste Assessment and Management Using Remote Sensing Data and SIG Tools : A Case Study of Najran City , KSA. 1026, 1–11. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1026/1/012041

Ervin, S. M., & Fasla, M. L. A. (2016). Technology in geodesign. Landscape and Urban Planning. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.09.010

Esri. (2019). SIG and BIM Integration: Common Myths and Practical Outcomes (Issue September).

Garramone, M., Tonelli, E., & Scaioni, M. (2022). a Multi-Scale Bim/SIG Framework for Railways Asset Management. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 46(5/W1-2022), 95–102. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-5-W1-2022-95-2022

Gholami, V. (2022). Spatial modeling of groundwater depth fluctuations using co-active neuro-fuzzy inference system (CANFIS) and geographic information system (SIG). Applied Water Science, 12(3), 1–12. https://doi.org/10.1007/s13201-022-01572-z

Gilbert, T., James, P., Smith, L., Barr, S., & Morley, J. (2021). Topological integration of BIM and geospatial water utility networks across the building envelope. Computers, Environment and Urban Systems, 86(November 2020), 101570. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2020.101570

Heo, J., Moon, H., Chang, S., Han, S., & Lee, D. E. (2021). Case study of solar photovoltaic powerplant site selection for infrastructure planning using a bim-SIG-based approach. Applied Sciences (Switzerland), 11(18). https://doi.org/10.3390/app11188785

Hor, A. E. H., Sohn, G., Claudio, P., Jadidi, M., & Afnan, A. (2018). A semantic graph database for BIM-SIG integrated information model for an intelligent urban mobility web application. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 4(4), 89–96. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-4-89-2018

Huang, T., Kou, S., Liu, D., Li, D., & Xing, F. (2022). A BIM-SIG-IoT-Based System for Excavated Soil Recycling. 1–17.
Iraguha, F., Ramelan, A. H., Setyono, P., & Sciences, N. (2022). Assessment of current solid waste management practices , community perceptions , and contributions in the City of Kigali ,. 1016, 1–14. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1016/1/012056

Kang, T.-W., Park, S.-H., & Hong, C.-H. (2016). BIM/SIG-based Data Integration Framework for Facility Management. GEOProcessing 2016 : The Eighth International Conference on Advanced Geographic Information Systems, c, 100–105.

Karan, E. P., Irizarry, J., & Haymaker, J. (2016). BIM and SIG Integration and Interoperability Based on Semantic Web Technology. Journal of Computing in Civil Engineering, 30(3), 1–11. https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000519

Kennedy, B. (2020). Can the integration of BIM and SIG enhance information management for large scale linear infrastructure projects? Journal of Chemical Information and Modeling.

Lehtola, V. V, Koeva, M., Oude, S., Raposo, P., Virtanen, J., Vahdatikhaki, F., & Borsci, S. (2022). Digital twin of a city : Review of technology serving city needs. xxxx.

Liu, J., Zhang, R., Yan, W., & Sun, L. (2021). Evacuation of building fire personnel based on BIM+SIG: A review. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 787(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/787/1/012173

Ma, Z., & Ren, Y. (2017). Integrated Application of BIM and SIG: An Overview. Procedia Engineering, 196(June), 1072–1079. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.064

Mahmood, S., Sharif, F., & Rahman, A. (2018). Analysis and forecasting of municipal solid waste in Nankana City using geo-spatial techniques.

Meyer, M. A., & Hendricks, M. D. (2018). Using Photography to Assess Housing Damage and Rebuilding Progress for Disaster Recovery Planning. Journal of the American Planning Association, 84(2), 127–144. https://doi.org/10.1080/01944363.2018.1430606

Modeling, B. I. (2020). SIG and BIM Integration in Infrastructure Design and Construction - SIG Lounge. SIG Lounge, 1–13. https://www.SIGlounge.com/SIG-and-bim-integration-in-infrastructure-design-and-construction/

Niu, S., Pan, W., & Zhao, Y. (2015). A BIM-SIG Integrated Web-based Visualization System for Low Energy Building Design. Procedia Engineering, 121, 2184–2192. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.09.091

Noardo, F., Harrie, L., Ohori, K. A., Biljecki, F., Ellul, C., Krijnen, T., Eriksson, H., Guler, D., Hintz, D., Jadidi, M. A., Pla, M., Sanchez, S., Soini, V. P., Stouffs, R., Tekavec, J., & Stoter, J. (2020). Tools for BIM-SIG integration (IFC georeferencing and conversions): Results from the GeoBIM benchmark 2019. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(9). https://doi.org/10.3390/ijgi9090502

Ohori, K. A., Biljecki, F., Diakité, A., Krijnen, T., Ledoux, H., & Stoter, J. (2017). TOWARDS AN INTEGRATION of SIG and BIM DATA: WHAT ARE the GEOMETRIC and TOPOLOGICAL ISSUES? ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 4(4W5), 1–8. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-4-W5-1-2017

Pal, P. (2021). Connecting BIM and SIG : The New Reality of Environmental Projects What Is BIM ? Autodesk University, 1–14. https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Connecting-BIM-and- SIG-New-Reality-Environmental-Projects-2021

Pepe, M., Costantino, D., Alfio, V. S., Restuccia, A. G., & Papalino, N. M. (2021). Scan to BIM for the digital management and representation in 3D SIG environment of cultural heritage site. Journal of Cultural Heritage, 50, 115–125. https://doi.org/10.1016/j.culher.2021.05.006

Profile, S. E. E. (2014). Integration of BIM and SIG : The development of the CityGML GeoBIM extension Integration of BIM and SIG : The development of the CityGML GeoBIM extension. March 2011. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12670-3

Rafiee, A., Dias, E., Fruijtier, S., & Scholten, H. (2014). From BIM to Geoanalysis: View Coverage and Shadow Analysis by BIM/SIG Integration. Procedia Environmental Sciences, 22(0), 397–402. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.11.037

Sharafat, A., Khan, M. S., Latif, K., Tanoli, W. A., Park, W., & Seo, J. (2021). Bim-SIG-based integrated framework for underground utility management system for earthwork operations. Applied Sciences (Switzerland), 11(12). https://doi.org/10.3390/app11125721

Song, Y., Wang, X., Tan, Y., Wu, P., Sutrisna, M., Cheng, J. C. P., & Hampson, K. (2017). Trends and opportunities of BIM-SIG integration in the architecture, engineering and construction industry: A review from a spatio-temporal statistical perspective. ISPRS International Journal of Geo-Information, 6(12). https://doi.org/10.3390/ijgi6120397

SuperMap. (2021). BIM+SIG en el proyecto de Central Hidráulica. SuperMap. https://www.supermap.com/es-es/case/?57_88.html

Thornton, L. E., Pearce, J. R., & Kavanagh, A. M. (2011). Using Geographic Information Systems (SIG) to assess the role of the built environment in influencing obesity: A glossary. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 8, 1–9. https://doi.org/10.1186/1479-5868-8-71

United BIM. (2022). Integrating BIM & SIG: What is BIM ? Integration of BIM & SIG - United-BIM Inc. Integration. https://www.united-bim.com/integration-of-bim-SIG/

Wang, C., Zou, F., Boon, J., Yap, H., Tang, R., & Li, H. (2022). Geographic information system and system dynamics combination technique for municipal solid waste treatment station site selection. 194(7), 35612675. https://doi.org/10.1007/s10661-022-10077-w

Wang, H., Pan, Y., & Luo, X. (2019). Integration of BIM and SIG in sustainable built environment: A review and bibliometric analysis. Automation in Construction, 103(February), 41–52. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.005

Wang, Y., Kang, X., & Chen, Z. (2022). A Survey of Digital Twin Techniques in Smart Manufacturing and Management of Energy Applications. Green Energy and Intelligent Transportation, 100014. https://doi.org/10.1016/j.geits.2022.100014

Wei, J., Chen, G., Huang, J., Xu, L., Yang, Y., Wang, J., & Sadick, A. M. (2021). Bim and SIG applications in bridge projects: A critical review. Applied Sciences (Switzerland), 11(13), 1–21. https://doi.org/10.3390/app11136207

Weldeabzgi, G. G., & Ketema, T. (2021). Land suitability evaluation for surface irrigation development using parametric evaluation approach : The case of Gudina Wacho watershed , Western Ethiopia. 7, 302–309.

Wyszomirski, M., & Gotlib, D. (2020). A unified database solution to process bim and SIG data. Applied Sciences (Switzerland), 10(23), 1–19. https://doi.org/10.3390/app10238518

Yamamura, S., Fan, L., & Suzuki, Y. (2017). Assessment of Urban Energy Performance through Integration of BIM and SIG for Smart City Planning. Procedia Engineering, 180, 1462–1472. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.309

Zhao, L., Liu, Z., & Mbachu, J. (2019). Highway Alignment Optimization : An Integrated BIM and SIG Approach. https://doi.org/10.3390/ijgi8040172

Zhu, J., Wright, G., Wang, J., & Wang, X. (2018). A critical review of the integration of geographic information system and building information modelling at the data level. ISPRS International Journal of Geo-Information, 7(2), 1–16. https://doi.org/10.3390/ijgi7020066

Zhu, J., & Wu, P. (2021). A common approach to georeferencing building models in industry foundation classes for bim/SIG integration. ISPRS International Journal of GeoInformation, 10(6). https://doi.org/10.3390/ijgi10060362