

Investigación aplicada al ámbito de la expresión gráfica arquitectónica por medios digitales. Marco de referencia y hoja de ruta

Research applied to the field of architectural graphic expression through digital means. Reference framework and roadmap

Ernest Redondo 

Universitat Politècnica de Catalunya. ernesto.redondo@upc.edu

Received 2023-05-26

Accepted 2023-09-07



To cite this article: Redondo, Ernest. "Research applied to the field of architectural graphic expression through digital means. Reference framework and roadmap." *VLC arquitectura* 10, no. 2 (October 2023): 203-224. ISSN: 2341-3050. <https://doi.org/10.4995/vlc.2023.19787>



Resumen: El abanico de Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones, (TIC) que se pueden integrar en el diseño arquitectónico, y sobre las que puede focalizarse nuestra investigación aplicada, se ha ampliado mucho en apenas 15 años, con nuevas tecnologías. Por todo ello nos enfrentamos a nuevos retos tales como la integración del BIM, del *Big Data*, la Realidad Virtual (VR), el Diseño Colaborativo, incluso la Inteligencia Artificial (IA). En este contexto reivindicamos la exploración de territorios de frontera entre las disciplinas arquitectónicas y TIC para ampliar horizontes. Esta propuesta de análisis del estado de la cuestión de la investigación TIC-AEC, parte de nuestra experiencia en la ETSAB-UPC, la cual tras incorporar las mismas de forma natural, ha ido evolucionado desde la expresión gráfica primigenia con sus diversas disciplinas clásicas, hacia un modelo más transversal del Digital-Urban Sketching, BIM+GIS, el Diseño Paramétrico, la Modelización virtual y Simulación visual en tiempo real. El nuevo horizonte es aproximarnos a la simulación del funcionamiento de la ciudad y los edificios, merced al trabajo multidisciplinar en colaboración con otros ámbitos como la Tecnología arquitectónica, los de la Ingeniería civil, la Geomática, el Urbanismo, los Proyectos arquitectónicos, en entornos virtuales e interactivos de BIMxD+BigData+Digital Twin.

Palabras clave: TIC-AEC (Tecnologías de la Información y Comunicación-Arquitectural, *Engineering and Construction industry*); Sociedad 5.0; Industria 4.0; Investigación aplicada a la Representación arquitectónica.

Abstract: The range of Information and Communications Technologies (ICT) that can be integrated into architectural design, and on which our applied research can focus, has expanded greatly in just 15 years, with new technologies. For all this, we face new challenges such as the integration of BIM, Big Data, Virtual Reality (VR), Collaborative Design, even Artificial Intelligence (AI). In this context we demand the exploration of border territories between architectural and ICT disciplines to broaden horizons. This proposal for analyzing the state of the art of ICT-AEC research, is based on our experience at the ETSAB-UPC, which after incorporating them naturally, has evolved from the original graphic expression with its various classic disciplines, towards a more transversal model of Digital-Urban Sketching, BIM+GIS, Parametric Design, Virtual Modeling and Visual Simulation in real time. The new horizon is to approach the simulation of the functioning of the city and buildings, thanks to multidisciplinary work in collaboration with other areas such as Architectural Technology, Civil Engineering, Geomatics, Urban Planning, Architectural Projects, in virtual environments. and interactive BIMxD+BigData+Digital Twin.

Keywords: ICT-AEC (Information and Communication Technologies-Architectural, *Engineering and Construction industry*); Society 5.0; Industry 4.0; Research applied to Architectural Representation.

INTRODUCCIÓN

El panorama inicial de nuestra área de conocimiento ha evolucionado mucho desde la incorporación de las técnicas digitales en los diferentes planes de estudio. Esa opción se ha reflejado de diversa forma en cada una de nuestras escuelas, pero sobre todo ha abierto nuevos campos a nuestra investigación.

El abanico de Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones, (TIC) que se pueden integrar en el diseño arquitectónico, y sobre las que puede focalizarse nuestra investigación aplicada, se ha ampliado como una mancha de aceite en apenas 15 años, con nuevas tecnologías y por todo ello nuestra disciplina se encuentra ante nuevos retos tales como la integración del BIM, del *Big Data*, la Realidad Virtual (VR), el Diseño Colaborativo, los METAVERSOS, incluso la Inteligencia Artificial (IA), etc. en nuestra labor docente reglada y de formación continuada de los futuros arquitectos. Y es en este nuevo contexto donde reivindico la misma actitud heterodoxa y plural que he venido defendiendo siempre, la de explorar los territorios de frontera entre las distintas disciplinas científicas como vía de ampliar nuestros horizontes, sin perder los orígenes ni la identidad del área de Expresión Gráfica Arquitectónica.

En su conjunto esta propuesta de análisis del estado de la cuestión de la investigación sobre las TIC, pivota sobre el ámbito de la Representación Arquitectónica en la Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (ETSAB), la cual tras incorporar a la misma las TIC de forma natural, ha ido evolucionado desde la Expresión Gráfica primigenia con sus diversas sub-áreas, Dibujo Técnico, Geometría Descriptiva, Análisis Gráfico y Visual, pasando por la Ideación, Digital-*Urban Sketching*, BIM y el Diseño Paramétrico, para actualmente ir avanzando en la Modelización virtual y la Simulación Visual en Tiempo Real e ir aproximándose a la simulación del funcionamiento de la ciudad y los edificios, merced al trabajo multidisciplinar en colaboración con otros ámbitos como la Tecnología Arquitectónica, los de la Ingeniería Civil, la Geomática, el Urbanismo, los Proyectos Arquitectónicos, en entornos combinados de BIM+SIG+BigData.

INTRODUCTION

The initial panorama of our area of knowledge has evolved considerably since the incorporation of digital techniques in the different study plans. This option has been reflected in diverse ways in each of our schools, but more importantly, it has opened up new fields for our research.

The range of Information and Communication Technologies (ICT) that can be integrated into architectural design, and on which our applied research can focus, has spread outwardly in just 15 years, with new technologies and as a result, our discipline is facing new challenges such as the integration of BIM, Big Data, Virtual Reality (VR), Collaborative Design, METAVERSES, even Artificial Intelligence (AI), etc. in our regulated teaching work and continuous training of future architects. And it is in this new context where I claim the same heterodox and plural attitude that I have always defended, that of exploring the border territories between the different scientific disciplines as a way to broaden our horizons, without losing the origins or the identity of the area of Expression. Architectural Graphics.

As a whole, this proposal for analysis of the state of the question of ICT research revolves around the field of Architectural Representation at the Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (ETSAB), which after naturally incorporating ICTs into it, has evolved from the Expression original graphics with its various sub-areas, Technical Drawing, Descriptive Geometry, Graphic and Visual Analysis, going through Ideation, Digital-*Urban Sketching*, BIM and Parametric Design, to currently progress in Virtual Modeling and Visual Simulation in Time Real and getting closer to the simulation of the functioning of the city and buildings, thanks to multidisciplinary work in collaboration with other areas such as Architectural Technology, Civil Engineering, Geomatics, Urbanism, Architectural Projects, in combined environments of BIM+GIS+BigData.

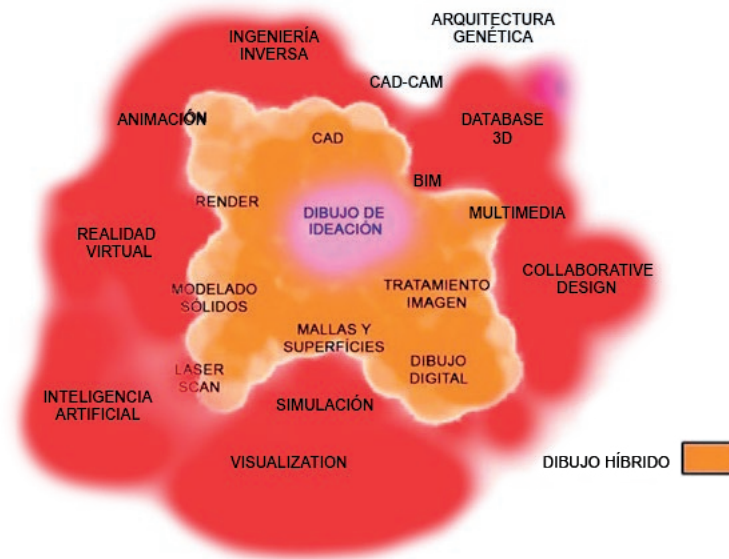


Figura 1. Diagrama explicativo de la evolución de la investigación aplicada de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) dentro de nuestra área de conocimiento.

Figure 1. Explanatory diagram of the evolution of applied research in Information and Communication Technologies (ICT) within our area of knowledge.

En este contexto de trabajo interdisciplinar, entendemos pues que los siguientes ámbitos a explorar serían los territorios de frontera hacia la Simulación, la Gamificación, Los Juegos Serios, la Virtualización, Visualización científica y el *Collaborative Design* on line en entornos virtuales, inmersivos, analíticos y en tiempo real, con los valores añadidos de fomentar la implicación de los usuarios y los agentes activos en la construcción y gestión de proyectos arquitectónicos y urbanos; a incrementar la motivación de los estudiantes e inculcar la sostenibilidad, la eficiencia energética junto con la innovación y la transferencia, en sus vertientes social y económica; a focalizarlo en la implicación de nuestros estudiantes en la resolución de problemas reales de emergencia habitacional y social y en fomentar la economía circular. En resumen, a mejorar la formación de nuestros estudiantes en el uso de las TIC más actuales, a la vez que fomentamos su compromiso social y sus competencias en un mercado laboral muy cambiante.

In this context of interdisciplinary work, we therefore understand that the next areas to explore would be the frontier territories towards Simulation, Gamification, Serious Games, Virtualization, Scientific Visualization and Online Collaborative Design in virtual, immersive, analytical and in real time, with the added value of promoting the involvement of users and active agents in the construction and management of architectural and urban projects; to increase the motivation of students and inculcate sustainability, energy efficiency together with innovation and transfer, in its social and economic aspects; to focus it on the involvement of our students in solving real housing and social emergency problems and promoting the circular economy. In summary, to improve the training of our students in the use of the most current ICTs, while promoting their social commitment and their skills in a highly changing labor market.

MARCO DE REFERENCIA

El marco socioeconómico y justificativo de esta propuesta de investigación parte de dos documentos clave. Por un lado, el Informe de la Oficina del Gabinete del Gobierno japonés sobre tecnología e innovación relacionada con la Sociedad 5.0 (ARI 10/2019 - 25/1/2019),¹ que plantea las estrategias a seguir para afrontar los nuevos retos de nuestra sociedad, desde la perspectiva de los sectores productivos y sociales. En el mismo se describe que una sociedad enfocada en el ser humano, que logra tanto el desarrollo económico como la resolución de los problemas sociales, se definiría como "Sociedad 5.0" y estaría basada en un sistema que integra en gran medida el ciberespacio y el espacio físico o real.

Esta designación se refiere así a una nueva sociedad que sigue a la de caza (Sociedad 1.0), la agrícola (Sociedad 2.0), la industrial (Sociedad 3.0) y la de la información (Sociedad 4.0). Por otro lado, encontramos definiciones que resaltan la importancia de establecer nuevos sistemas ciber físicos (CPS - *Cyber Physical Systems*) donde el ciberespacio y el espacio físico están vinculados entre sí, tanto en los procesos de diseño como de fabricación (Industria 4.0). Sin embargo, la Industria 4.0 se especializa principalmente en la manufactura, y hay una diferencia significativa entre estos conceptos porque la Sociedad 5.0 enfatiza la construcción de una sociedad rica, centrada en el ser humano además del desarrollo económico versus la eficiencia de producción. Por eso es fundamental incorporar al usuario dentro de los procesos de aplicabilidad de las nuevas tecnologías.

En una sociedad orientada a hacer realidad estos conceptos a través de nuevos procesos de diseño y fabricación, es especialmente importante cómo los usuarios, en cualquier etapa, utilicen las nuevas propuestas basadas en una interconexión global a través de la tecnología (IoT - *Internet of Things*). El trabajo colaborativo, la logística, la adaptación al usuario o la personalización, las nuevas estrategias

FRAMEWORK

The socioeconomic and justification framework of this research proposal is based on two key documents. On the one hand, the Report of the Japanese Government Cabinet Office on technology and innovation related to Society 5.0,¹ which outlines the strategies to be followed to face the new challenges of our society, from the perspective of the productive and social sectors. It describes that a human-focused society, which achieves both economic development and the resolution of social problems, would be defined as "Society 5.0" and would be based on a system that integrates cyberspace and the physical or real space.

This designation thus refers to a new society that follows hunting (Society 1.0), agricultural (Society 2.0), industrial (Society 3.0) and information (Society 4.0). On the other hand, we find definitions that highlight the importance of establishing new cyber physical systems (CPS - *Cyber Physical Systems*) where cyberspace and physical space are linked together, both in the design and manufacturing processes (Industry 4.0). However, Industry 4.0 specializes in manufacturing, and there is a significant difference between these concepts because Society 5.0 emphasizes building a rich, human-centered society in addition to economic development versus production efficiency. That is why it is essential to incorporate the user into the processes of applicability of recent technologies.

In a society oriented to make these concepts a reality through modern design and manufacturing processes, it is especially important how users, at any stage, use the new proposals based on a global interconnection through technology (IoT - *Internet of Things*). Collaborative work, coordination, adaptation to the user or personalization, new thinking strategies, visualization

de pensamiento, la visualización y el seguimiento, son aspectos fundamentales que se han fortalecido a raíz de la reciente pandemia de COVID.

En estas nuevas realidades, con un gran aporte de los sistemas digitales, la seguridad a todos los niveles, la sostenibilidad, la reducción de cualquier brecha por género, la diversidad social y económica, etc., son retos en los que se enmarca la actual propuesta de estrategia de investigación futura. Intentamos encontrar modos de conexión entre el mundo real y el digital, lo cual requiere el diseño de protocolos y modos de acción complejos, capaces de manejar multitud de datos de diversas fuentes: sensores físicos, interacciones de usuarios, encuestas, procesos de aprendizaje, simulaciones virtuales, diagnosticar y predecir el funcionamiento y uso mediante nuevas representaciones técnicas, abstractas, inmersivas, interactivas, etc.

Estos requisitos se cruzan con definiciones como: *Big Data* (BD), *Big Data Analytics* (BDA), Inteligencia Artificial (AI), *Cloud Computing* (CC) que en conjunto están generando soluciones innovadoras en diferentes industrias y procesos de diseño y creación con base en la "nube". En este contexto, campos como la Arquitectura, la Ingeniería, la Construcción y la gestión del ciclo de vida de los edificios (*Operation* o *Facility Management*), no son ajenos a la incorporación de nuevos modelos de trabajo, colocados en la confluencia de conceptos como los Visualizadores o el *Digital Twin*, que en el caso de la industria están ya muy desarrollados, pero en el caso de la Arquitectura, apenas se están planteando, salvo en el campo del urbanismo.

El segundo documento clave es el Informe del *European Construction Sector Observatory. Digitalisation in the construction sector. European Construction Sector Observatory (ECSO) project. 2021. Analytical Report of the European Commission.*² Un proyecto en desarrollo del que cada año se genera un informe de seguimiento. En este proyecto, tras un estudio a partir miles de encuestas a los agentes implicados: arquitectos, ingenieros civiles, constructores, fabricantes de materiales para la construcción, etc. y con datos estadísticos

and monitoring, are fundamental aspects that have been strengthened as a result of the recent COVID pandemic.

In these new realities, with a great contribution from digital systems, security at all levels, sustainability, the reduction of any gender gap, social and economic diversity, etc. are challenges in which the current proposed future research strategy. We try to find ways of connecting between the real and the digital world, which requires the design of complex protocols and modes of action, capable of managing a multitude of data from various sources: physical sensors, user interactions, surveys, learning processes, simulations. virtual, diagnose and predict the operation and use through new technical, abstract, immersive, interactive representations, etc.

These requirements intersect with definitions such as: Big Data (BD), Big Data Analytics (BDA), Artificial Intelligence (AI), Cloud Computing (CC) that together are generating innovative solutions in different industries and design and creation processes based on the cloud". In this context, fields such as Architecture, Engineering, Construction and the management of the life cycle of buildings (Operation or Facility Management), are not immune to the incorporation of new work models, placed at the confluence of concepts such as the Visualizers or the Digital Twin, which in the case of industry are already highly developed, but in the case of Architecture, they are rarely being considered, except in the field of urbanism.

The second key document is the Report of the *European Construction Sector Observatory.*² Digitization in the construction sector. European Construction Sector Observatory (ECSO) project. 2021. Analytical Report of the European Commission. A project in development for which a follow-up report is generated every year. In this project, after a study based on thousands of surveys of the agents involved: architects, civil engineers, builders, manufacturers of construction

extraídos de los diferentes gobiernos, se lleva a cabo un diagnóstico periódico sobre cuál es el futuro de las tecnologías aplicadas al sector de la Construcción, en el sentido más amplio del término o como se denomina oficialmente (AEC), *Architectural, Engineering and Construction industry*, que se utilizan para hacer referencia al sector de la construcción al completo, citando a todos los agentes: Arquitectura, Ingeniería y Construcción. Es decir, incluye también la opinión de arquitectos, ingenieros civiles, constructores, empresas vinculadas, etc. en el conjunto de la Comisión Europea (CEE).

Este documento define las diversas TIC actualmente en uso en el sector, con el fin de facilitar una comprensión común del análisis y las conclusiones presentadas en el mismo y garantizar la coherencia con otros documentos de la Comisión Europea. En él, se adoptan las definiciones de tecnologías digitales en el sector de la construcción basadas en el informe y encargo previo de la Comisión con el título, "Apoyar la digitalización del sector de la construcción en sentido global y de las PYMES implicadas."

La premisa de partida es considerar que la digitalización en el sector AEC, puede brindar oportunidades significativas para toda la cadena de valor, no solo mejorando las prácticas existentes, sino también integrando tecnologías y herramientas disruptivas, que pueden conducir a nuevos procesos, modelos comerciales, materiales y soluciones. En resumen, las tecnologías digitales pueden ayudar al sector a construir mejor y abordar varios problemas, incluida la escasez de mano de obra, la productividad laboral, los desechos y las emisiones de gases de efecto invernadero, y los desafíos sociales y de salud. En el informe las TIC están organizadas en tres categorías: adquisición de datos, procesos de automatización e información y análisis digital. La adquisición de datos se refiere a la disponibilidad sin precedentes de cantidades masivas de datos de sensores, escáneres y dispositivos conectados (IoT) relacionados con todos los aspectos de la construcción, desde la geolocalización hasta los niveles de humedad; desde el uso de energía hasta la calidad del aire; desde grabaciones de vídeo hasta mediciones

materials, etc. and with statistical data extracted from the different governments, a periodic diagnosis is carried out on what is the future of the technologies applied to the Construction sector, in the broadest sense of the term or as it is officially called (AEC), *Architectural, Engineering and Construction industry*, which are used to refer to the entire construction sector, citing all agents: Architecture, Engineering and Construction. That is, it also includes the opinion of architects, civil engineers, builders, related companies, etc. in the whole of the European Commission (EEC).

This document defines the various ICTs currently in use in the sector, in order to facilitate a mutual understanding of the analysis and conclusions presented therein and to ensure consistency with other European Commission documents. In it, the definitions of digital technologies in the construction sector are adopted based on the report and previous commission from the Commission with the title, "Support the digitization of the construction sector in a global sense and of the SMEs involved."

The starting premise is to consider that digitization in the AEC sector can provide significant opportunities for the entire value chain, not only improving existing practices, but also integrating disruptive technologies and tools, which can lead to new processes, business models, materials and solutions. In short, digital technologies can help the sector build better and address various issues, including labor shortages, labor productivity, waste and greenhouse gas emissions, and health and social challenges. In the report, ICTs are organized into three categories: data acquisition, automation processes, and digital information and analytics. Data acquisition refers to the unprecedented availability of massive amounts of data from sensors, scanners, and connected devices (IoT) related to all aspects of construction, from geolocation to humidity levels; from energy use to air quality; from video recordings to seismic measurements. The availability of

sísmicas. La disponibilidad de estos datos permitirá una gama creciente de servicios analíticos para mejorar la productividad y eficiencia en la construcción.

Esto afectará a los procesos, en todas sus fases (por ejemplo, diseño e ingeniería, construcción, operación y mantenimiento, etc.) y sus subsectores (por ejemplo, inmobiliario, fabricación, arquitectura e ingeniería). Los procesos de automatización mediante la adopción de robots, fabricación aditiva, drones y otras maquinarias son claves para el desarrollo y modernización del sector. Al automatizar ciertas actividades, no solo aumenta la calidad final del proyecto, sino que los trabajadores también están menos expuestos a riesgos y se pueden implementar nuevos materiales y técnicas. Esta categoría de tecnologías digitales es, por lo tanto, más relevante para la fase de construcción de las cadenas de valor, una parte que tradicionalmente se pasa por alto cuando se trata de la digitalización del sector.

Teniendo en cuenta las dos categorías que acabamos de mencionar, la tercera, la información y el análisis digitales son, por lo tanto, cruciales para conectar todas las tecnologías innovadoras en este sector y procesar los datos disponibles, lo que conduce a mejoras y transformaciones significativas en la forma en que se realiza el trabajo. De hecho, el valor añadido de contar con información en tiempo real, mediciones precisas y bases de datos de inventario histórico, por ejemplo, será cada vez más importante y esencial para la sostenibilidad y competitividad del sector.

Como se deduce de lo dicho anteriormente las tecnologías presentadas están, fuertemente interconectadas. Para dar un ejemplo, el informe analiza sensores, drones y robótica como tres tecnologías separadas; sin embargo, los drones pueden equiparse con varios sensores y piezas robóticas. Al mismo tiempo, el escaneo 3D, BIM, la realidad aumentada y los gemelos digitales también están profundamente interconectados, ya que se refieren a tecnologías similares que se utilizan de diferentes maneras o en diferentes etapas de la misma tecnología (por ejemplo, se puede ver la realidad aumentada en el sector AEC como la

this data will enable a growing range of analytical services to improve construction productivity and efficiency.

This will affect the processes, in all their phases (for example, design and engineering, construction, operation and maintenance, etc.) and their sub-sectors (for example, real estate, manufacturing, architecture and engineering). Automation processes through the adoption of robots, additive manufacturing, drones and other machinery are key to the development and modernization of the sector. By automating certain activities, not only does the final quality of the project increase, but workers are also less exposed to risks and new materials and techniques can be implemented. This category of digital technologies is therefore most relevant to the construction phase of value chains, a part that is traditionally overlooked when it comes to digitizing the sector.

Considering the two categories just mentioned, the third one, digital information and analytics are therefore crucial to connect all the innovative technologies in this sector and process the available data, leading to significant improvements and transformations in the way the work is done. In fact, the added value of having real-time information, precise measurements and historical inventory databases, for example, will be increasingly important and essential for the sustainability and competitiveness of the sector.

As can be deduced from what has been outlined above, the technologies presented are strongly interconnected. To give one example, the report discusses sensors, drones, and robotics as three separate technologies; however, drones can be equipped with various sensors and robotic parts. At the same time, 3D scanning, BIM, augmented reality and digital twins are also deeply interconnected as they refer to similar technologies being used in different ways or at different stages of the same technology (for example, you can see augmented reality in the AEC sector

combinación de proyectos BIM con sensores visuales; un Digital Twin es un proyecto BIM actualizado periódicamente mediante el uso de datos de varios sensores, escáneres, etc.

Tras esta introducción, el informe prosigue con la relación y definición de las tecnologías estudiadas que enunciamos sucintamente:

- Sensores
- Internet de las cosas (IoT)
- El escaneo 3D
- La robótica
- La impresión 3D y FabLab
- Los drones.
- BIM
- Realidad virtual y aumentada
- La inteligencia artificial (IA)
- Digital Twin
- Las plataformas digitales de construcción

De entre todas ellas, el propio informe destaca algunas por su importancia relativa. La mayor es el uso del BIM como estructura vertebral de todas ellas y además se puede combinar con datos geoespaciales, algoritmos y otro software de análisis de datos para expandir aún más su potencial. La Comisión Europea ha apoyado durante mucho tiempo la adopción de BIM, especialmente en la contratación pública, promoviendo y desarrollando varias políticas e iniciativas destinadas a fomentar la digitalización en el sector de la construcción. Por eso el BIM es posiblemente la tecnología digital más desarrollada y utilizada en el sector de la construcción; sin embargo, su adopción en el mercado de la UE sigue siendo moderada. Ver informe de 2019 ECSO sobre el BIM.³

La segunda tecnología es la Realidad Virtual y Aumentada (VR/AR), que es una innovación tecnológica que incorpora elementos virtuales en entornos reales. Más específicamente, la Realidad Virtual se refiere a un entorno digital simulado, generalmente con un posible cierto grado de interacción del usuario;

as the combination of BIM projects with visual sensors; a Digital Twin is a BIM project regularly updated by using data from various sensors, scanners, etc.

After this introduction, the report continues with the relationship and definition of the technologies studied that we briefly state:

- Sensors
- Internet of things (IoT)
- 3D scanning
- The robotic
- 3D printing and FabLab
- The drones
- BIM
- Virtual and augmented reality
- Artificial Intelligence (AI)
- Digital Twin
- Digital construction platforms

Among all of them, the report itself highlights some due to their relative importance. The biggest is the use of BIM as the backbone of all of them and can also be combined with geospatial data, algorithms and other data analysis software to further expand its potential. The European Commission has long supported the adoption of BIM, especially in public procurement, promoting and developing various policies and initiatives aimed at fostering digitization in the construction sector. That is why BIM is the most developed and used digital technology in the construction sector; however, its adoption in the EU market remains moderate. See 2019 ECSO report on BIM.³

The second technology is Virtual and Augmented Reality (VR/AR), which is a technological innovation that incorporates virtual elements into real environments. More specifically, Virtual Reality refers to a simulated digital environment, usually with some degree of user interaction;

mientras que la realidad aumentada consiste en la superposición de elementos digitales en el entorno del mundo real a través de entradas sensoriales generadas por computadora. La RV/RA en el proceso de diseño y en el de construcción permite combinar modelos arquitectónicos digitales con la realidad física de un lugar de trabajo, es decir superpone elementos gráficos generados por computadora en vídeos capturados por la cámara, por lo que aparece en tiempo real, en la ubicación exacta en el mundo real. En términos de proyectos de arquitectura, la RA implica la colocación de un modelo 3D de un diseño prospectivo en el espacio existente combinando el modelo 3D y el espacio existente. El informe estima que el contexto europeo de RV/RA crecerá significativamente con una tasa anual de más del 36% en el período 2019-2025. Sin embargo, la adopción del mercado en la UE es todavía limitada, más que el BIM.

En el sector AEC, en su conjunto la VR/AR se puede utilizar para simular situaciones y escenarios del mundo real y, en consecuencia, tiene una amplia gama de aplicaciones en varias fases del ciclo de vida de un edificio, en particular en el diseño, planificación, construcción y gestión. Se pueden utilizar para visualizar proyectos complejos y proporcionar un entorno simulado en el que arquitectos, ingenieros, jefes de proyecto y clientes puedan experimentar y trabajar sobre el modelo virtual construido digitalmente, teniendo así una visualización realista del resultado final, sus características y funcionalidades. Por lo tanto, las ideas y los proyectos pueden visualizarse de manera virtual y realista mucho antes de que comience el proceso de construcción, por lo que resultan ser también una herramienta valiosa para el desarrollo empresarial, profesional y educativo.

Además, esto permite revisiones virtuales en el sitio, lo que evita costos adicionales y demoras. Además, la RV/RA se puede utilizar para brindar a los trabajadores y estudiantes experiencia práctica y capacitación antes de ingresar a un lugar de trabajo, y se usa cada vez más en bienes raíces con fines de marketing y ventas, lo que permite a los compradores visitar el edificio antes de su realización e incluso desde en el extranjero. En la parte final el informe incorpora

while augmented reality consists of the superimposition of digital elements on the real world environment through computer generated sensory inputs. VR/AR in the design and construction process allows you to combine digital architectural models with the physical reality of a workplace, that is, it superimposes computer-generated graphic elements on videos captured by the camera, so it appears in time real, at the exact location in the real world. In terms of architectural projects, AR involves placing a 3D model of a prospective design in the existing space by combining the 3D model and the existing space. The report estimates that the European VR/AR context will grow significantly with an annual rate of more than 36% in the period 2019-2025. However, market adoption in the EU is still limited, more so than BIM.

In the AEC sector, VR/AR as a whole can be used to simulate real world situations and scenarios and consequently has a wide range of applications in various phases of a building's life cycle, in particular in design, planning, construction and management. They can be used to visualize complex projects and provide a simulated environment in which architects, engineers, project managers and clients can experiment and work on the digitally built virtual model, thus having a realistic visualization of the final result, its features and functionalities. Therefore, ideas and projects can be virtually and realistically visualized long before the construction process begins, making them also a valuable tool for business, professional and educational development.

Additionally, this allows for virtual on-site reviews, avoiding additional costs and delays. Additionally, VR/AR can be used to provide workers and students with primary experience and training before entering a workplace and is increasingly being used in real estate for marketing and sales purposes, allowing Buyers visit the building before its completion and even from abroad. In the final part, the report incorporates

diversos aspectos a mejorar. De entre todos ellos, y por la cuenta que nos tienen, nos interesa destacar el de las habilidades digitales.

La innovación digital en el sector AEC, entendido en sentido integral, es decir incluyendo la arquitectura y la formación de los futuros arquitectos, puede ofrecer plenamente sus beneficios sólo si las firmas de arquitectura, oficinas técnicas y empresas tienen acceso a mano de obra calificada. Esto puede suceder si las mismas pueden atraer, desarrollar y retener talentos capacitados y calificados. Más específicamente, la fuerza creativa y laboral del sector del mañana debe estar capacitada en los campos de seguridad, de las TIC, la comunicación digital, el procesamiento de datos y la creación de contenido digital, y debe poder comunicarse y trabajar en entornos digitales, con datos digitales; comprender el concepto de protección de datos y las precauciones que se deben tomar para gestionar de forma segura datos confidenciales.

El informe expone la opinión de muchas firmas y equipos del sector, y en particular las de pequeño o reducido tamaño, que a menudo sufren de la falta de mano de obra calificada digital. Las respuestas de las encuestas realizadas en todos los países de la CEE para redactar este informe lo confirmaron, colocando la “falta de recursos humanos calificados” como uno de los principales desafíos, con hasta un 66% y un 60% de los encuestados diciendo que es un límite para la adopción específica de Inteligencia Artificial y Realidad Virtual y Aumentada, respectivamente, en la cadena de valor.

Dado el reciente y rápido surgimiento de las tecnologías digitales en el sector AEC, el tema de la estandarización ha ido ganando importancia, ya que es fundamental para la interoperabilidad de diferentes herramientas digitales. El sector, como muchas otras industrias y sistemas productivos en el que se ven implicados diversos agentes, se rige por numerosos estándares, regulaciones, pautas y requisitos, los cuales están destinados a hacer que los proyectos de construcción sean más seguros y eficientes; sin embargo, también representan un desafío importante en lo que respecta a la cooperación

various aspects to improve. Among all of them, and for the features they possess, we are interested in highlighting digital skills.

Digital innovation in the AEC sector, understood in a comprehensive sense, that is, including architecture and the training of future architects, can fully offer its benefits only if architecture firms, technical offices and companies have access to skilled labor. This is achievable if they can attract, develop and retain trained and qualified talent. More specifically, the creative and workforce of tomorrow's industry must be trained in the fields of security, ICT, digital communication, data processing and digital content creation, and must be able to communicate and work in digital environments, with digital data; understand the concept of data protection and the precautions that must be taken to securely manage sensitive data.

The report presents the opinion of many firms and teams in the sector, and in particular those of small or reduced size, which often suffer from the lack of skilled digital workforce. Responses to surveys carried out in all CEE countries to write this report confirmed this, placing the “lack of qualified human resources” as one of the main challenges, with up to 66% and 60% of respondents saying that it is a limit for the specific adoption of Artificial Intelligence and Virtual and Augmented Reality, respectively, in the value chain.

Given the recent and rapid emergence of digital technologies in the AEC sector, the issue of standardization has been gaining importance, since it is essential for the interoperability of different digital tools. The sector, like many other industries and production systems in which various agents are involved, is governed by numerous standards, regulations, guidelines and requirements, which are intended to make construction projects safer and more efficient; however, they also represent a significant challenge in terms of

e interoperabilidad de las nuevas tecnologías en este sector. Los estándares de la industria son fundamentales para garantizar la seguridad y la calidad, la eficiencia en todos los procesos y la captura de datos.

La heterogeneidad de los actores involucrados en la cadena de valor del sector AEC, la estandarización y, por lo tanto, la interoperabilidad de los datos que brindan y se utilizan, es fundamental para el despliegue efectivo y exitoso de las tecnologías digitales en toda la cadena de valor.

Un desafío clave que enfrentan los actores AEC es la falta actual de estándares comunes al compartir información (es decir, datos) y la ausencia de un entendimiento acordado de la información requerida en las diversas fases de la cadena de valor de la construcción. Esto se complica aún más por los diferentes programas informáticos, formatos de datos y terminologías utilizados en la industria y la variedad de información solicitada de múltiples disciplinas de la construcción. En el sector de la construcción, sólo se pueden observar tendencias a optimizar a nivel individual u organizacional, ya que el sector está altamente fragmentado, y nadie es dueño de todo el proceso en construcción, reduciendo así los incentivos para desarrollar estándares comunes fuera de la empresa individual de fase.

Las plantillas y formatos de datos estandarizados proporcionarían un enfoque coherente para los fabricantes de productos al proporcionar un formato específico para un tipo de datos precisos que puedan ser entendidos y utilizados por todos los actores de las cadenas de valor. Estas plantillas de datos permitirían automatizar los procesos de datos de construcción digitales, por ejemplo, desde BIM, y tener un mayor grado de fiabilidad, favoreciendo así un uso más amplio de las herramientas digitales. La estandarización de datos también apoyaría la entrega de proyectos de construcción sostenible al proporcionar información de manera homogénea, lo que permitiría tanto a los promotores, arquitectos, técnicos y constructores de proyectos como a los clientes comparar más fácilmente los datos de sostenibilidad (por ejemplo, eficiencia energética, residuos producidos) de diferentes edificios.

cooperation and interoperability of innovative technologies in this sector. Industry standards are essential to ensure safety and quality, efficiency in all processes and data capture.

The heterogeneity of the actors involved in the value chain of the AEC sector, the standardization and, therefore, the interoperability of the data they provide and use, is essential for the effective and successful deployment of digital technologies throughout the chain of value.

A key challenge facing AEC actors is the current lack of common standards when sharing information (i.e., data) and the absence of an agreed understanding of the information required in the various phases of the construction value chain. This is further complicated by the different software, data formats and terminologies used in the industry and the variety of information requested from multiple construction disciplines. In the construction sector, tendencies to optimize can only be observed at the individual or organizational level, since the sector is highly fragmented, and no one owns the entire process under construction, thus reducing the incentives to develop common standards outside the construction industry phase individual company.

Standardized data formats and templates would provide a consistent approach for product manufacturers by providing a specific format for a precise type of data that can be understood and used by all value chain actors. These data templates would allow the automation of digital construction data processes, for example from BIM, and have a higher degree of reliability, thus favoring a wider use of digital tools. Data standardization will also support the delivery of sustainable construction projects by providing information in a homogeneous manner, allowing project developers, architects, technicians and builders as well as clients to compare sustainability data more easily (for example, energy efficiency, waste produced) of different buildings.

Del análisis de las miles de encuestas realizadas para este informe, se deduce la “falta de estándares” que faciliten la interoperabilidad entre sistemas según protocolos normalizados según fija el informe ECSO.⁴ Este es uno de los principales desafíos, particularmente relevante para las innovaciones digitales como BIM, sensores y DT. En este contexto, se han realizado algunos avances, como se destacó en los apartados anteriores. El Comité Europeo de Normalización ha adoptado oficialmente los estándares BIM (CEN/TC 442: IFD (ISO 12006-3: 2007), IFC (ISO 16739: 2013) e IDM (ISO 29481-2: 2012), para crear un lenguaje común a la hora de compartir información y un entendimiento acordado de la información requerida en las diversas etapas de un proyecto. Sin embargo, todavía hay un margen de mejora en lo que respecta a la estandarización de las diferentes tecnologías digitales.

ESTADO DE LA CUESTIÓN. BREVE RELACIÓN VISUAL DE ANTECEDENTES EN ENTORNOS ACADÉMICOS EQUIPARABLES A NUESTRA ÁREA

A fecha de hoy están aceptados diversos registros y estrategias de representación analítica en el ámbito arquitectónico tales como los simuladores de los modelos estructurales, de control de superficies, etc. En las imágenes adjuntas se muestran algunos ejemplos de visualizaciones a partir de aplicaciones informáticas de captura, análisis y gestión de datos con salidas o representaciones que aportan otro tipo de registros gráficos a los habituales en el área y que poco a poco se están incorporando a las presentaciones de proyectos, concursos y como sistemas de diagnóstico a partir de imágenes de síntesis (Figuras 3 a 10).

Todo este glosario de términos y propuestas expuestas en los informes de la CEE están suficientemente avalados por publicaciones científicas de referencia que no es preciso repetir en este artículo, lo mismo podemos decir del muestrario gráfico de nuevas estrategias de representación y gestión de los datos arquitectónicos, que se fundamentan en múltiples trabajos que de forma sucinta recogemos en el apartado de las referencias

From the analysis of the thousands of surveys carried out for this report, it can be deduced that there is exists a “lack of standards” that facilitate interoperability between systems according to standardized protocols as established by the ECSO report.⁴ This is one of the main challenges, particularly relevant for digital innovations such as BIM, sensors and DT. In this context, some progress has been made, as highlighted in the previous sections. The European Committee for Standardization has officially adopted the BIM standards (CEN/TC 442: IFD (ISO 12006-3:2007), IFC (ISO 16739:2013) and IDM (ISO 29481-2:2012), to create a common language when to share information and an agreed understanding of the information required at the various stages of a project. However, there is still room for improvement when it comes to standardizing different digital technologies.

STATE OF THE ART. BRIEF VISUAL LIST OF BACKGROUND IN ACADEMIC ENVIRONMENTS COMPARABLE TO OUR AREA

To date, various registries and analytical representation strategies are accepted in the architectural field, such as simulators of structural models, surface control... The attached images show some examples of visualizations from computer applications for data capture, analysis and management with outputs or representations that provide other types of graphic records to the usual ones in the area and that little by little are being incorporated into the project presentations, contests and as diagnostic systems from synthetic images (Figures 3 to 10).

All these glossaries of terms and proposals set forth in the CEE reports are sufficiently endorsed by leading scientific publications that need not be repeated in this article, the same can be said of the graphic sample of new strategies for the representation and management of architectural data, which are based on multiple works that we briefly collect in the references section, but

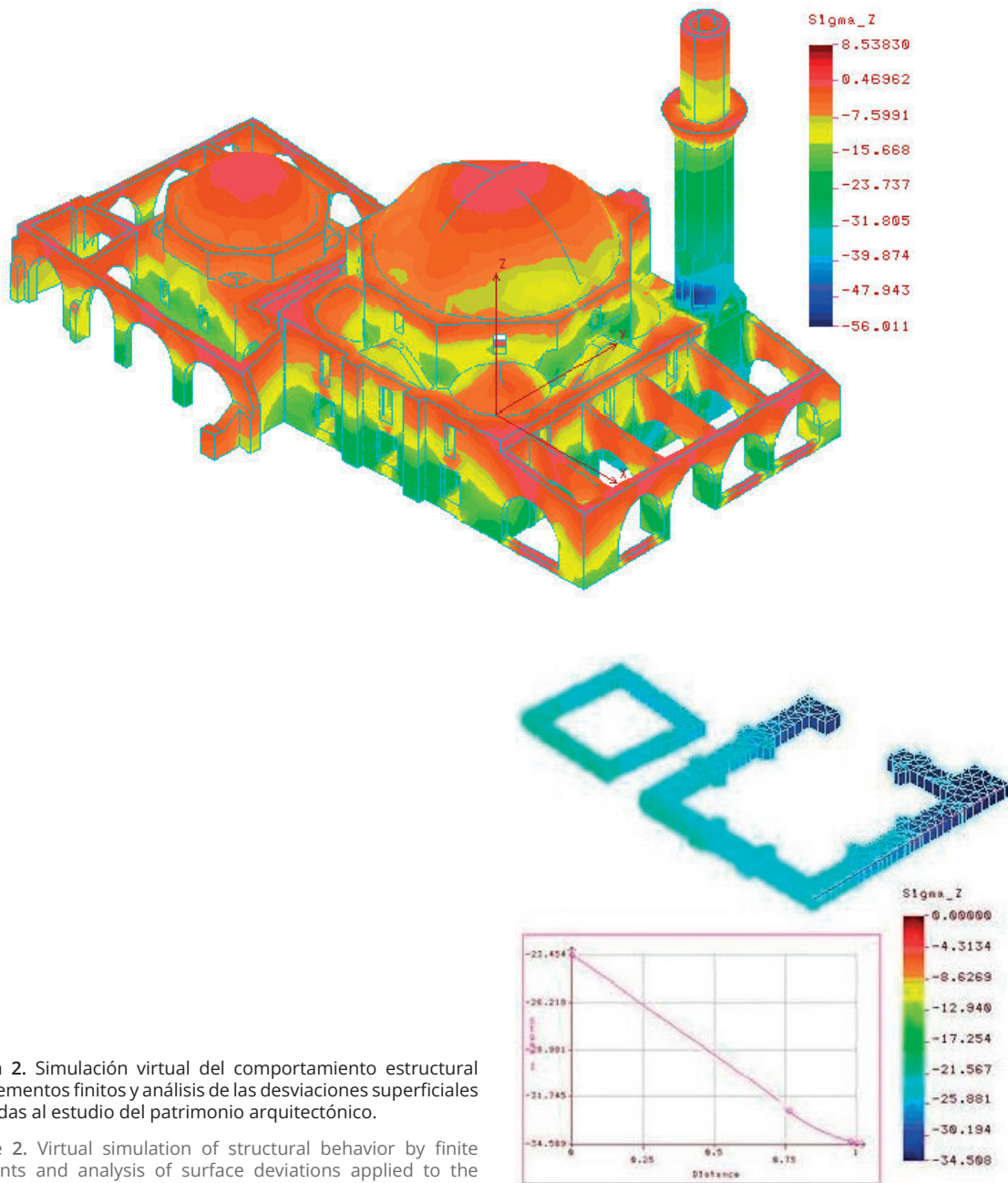


Figura 2. Simulación virtual del comportamiento estructural por elementos finitos y análisis de las desviaciones superficiales aplicadas al estudio del patrimonio arquitectónico.

Figure 2. Virtual simulation of structural behavior by finite elements and analysis of surface deviations applied to the study of architectural heritage.

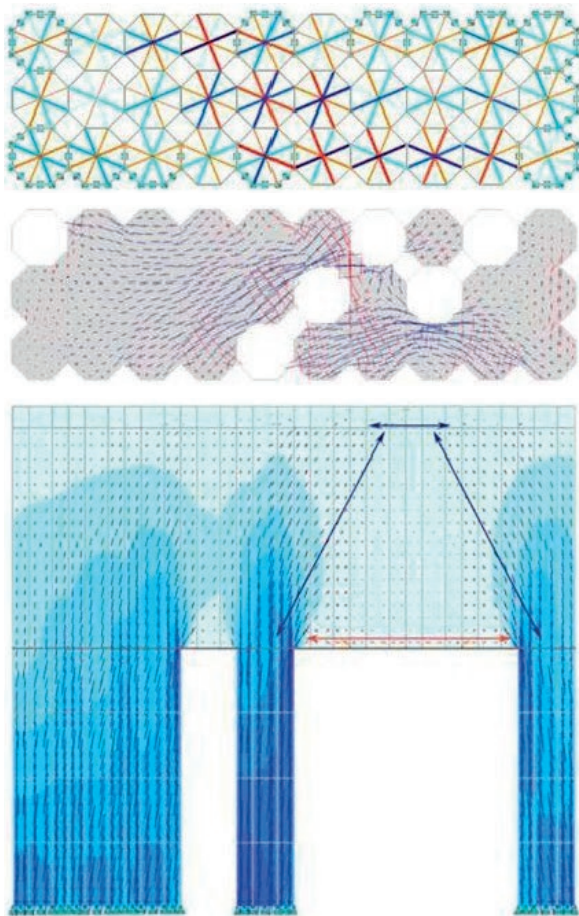


Figura 3. Héctor Mendoza y Mara Partida. Concurso para el proyecto del Kunstsilo Kristiansand Museum en Noruega. Primer Premio. En ejecución. Análisis estructural de la actuación para transformar unos viejos silos de hormigón en un museo.

Figure 3. Hector Mendoza and Mara Partida. Competition for the Kunstsilo Kristiansand Museum project in Norway. First prize. In action. Structural analysis of the action to transform some old concrete silos into a museum.

pero vista la celeridad con la que evoluciona la tecnología consideramos adecuado citar los trabajos más recientes en este campo de estudio, centrándonos en el BIM más avanzado y los *digital twins* o gemelos digitales.

En el apartado del BIM, a nuestro entender el trabajo más destacado aparecido los dos últimos años es el de Araya, F.⁵ y el de Dinis, F. M. et al.⁶ que incorporan la Inteligencia Artificial en el BIM. Koushan, K. et al.⁷ por su parte introducen en la ecuación y discusión el tema de la eficiencia energética en la gestión y diseño integrado. Entre los más recientes trabajos sobre el desarrollo de los DT arquitectónicos destacamos

given the speed with which technology evolves, we consider it appropriate to cite the most recent works in this field of study, focusing on the most advanced BIM and digital Twins.

In the BIM section, in our opinion the most outstanding work that has appeared in the last two years is Araya, F.⁵ and de Dinis, F. M. et al.,⁶ that incorporate Artificial Intelligence in BIM. Koushan, K. et al.⁷ for its part introduces into the equation and discussion the issue of energy efficiency in management and integrated design. Among the most recent works on the development of

Figura 4. Integración de un simulador y visualizador del comportamiento del humo dentro de un edificio en un entorno BIM.

Figure 4. Integration of a simulator and visualizer of the behavior of smoke inside a building in a BIM environment

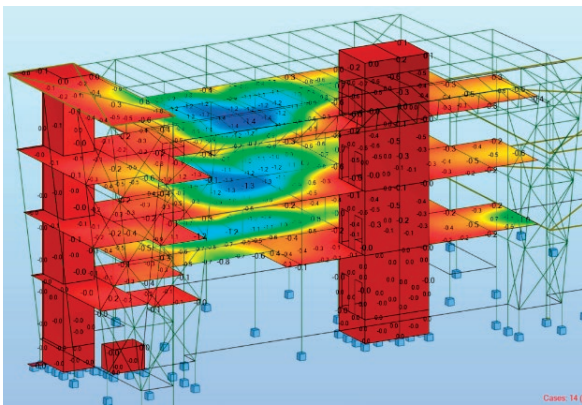
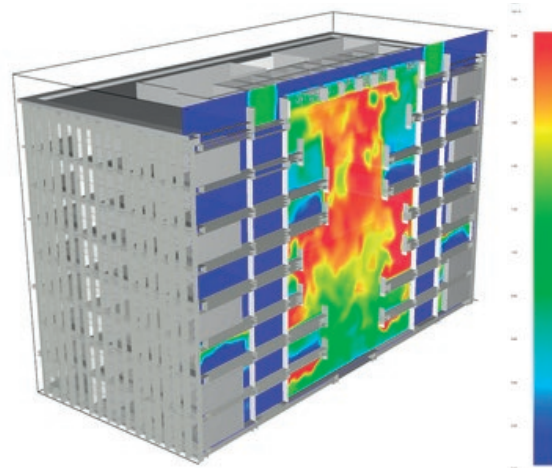


Figura 5. Simulaciones estructurales de acero y hormigón.

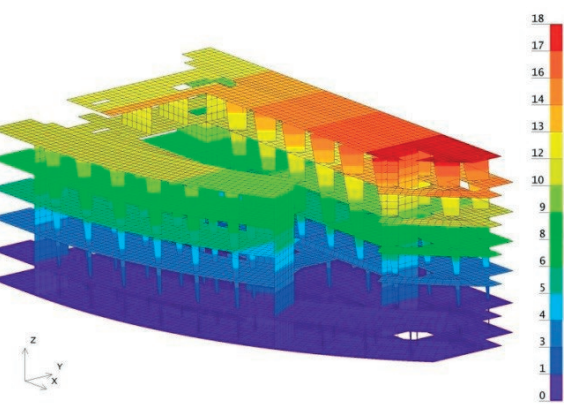


Figure 5. Structural simulations of steel and concrete.

Hadjidemetriou, L. et al.⁸ El tema de la visualización de datos del confort de los usuarios y su simulación es analizado de forma transversal por Yoon,⁹ Abdelrahman, M.M et al.,¹⁰ Zheng, P. et al.,¹¹ y por Del Ama-Gonzalo, et al.,¹² aunque este último se focaliza específicamente en edificios de oficinas. Todos estos temas son claves: el futuro de los gemelos digitales arquitectónicos y la simulación y visualización de su comportamiento antes de su construcción y después, gestionado mediante la IA su vida útil. Este es el nuevo paisaje al que nos deberemos acostumbrar.

architectural DTs we highlight Hadjidemetriou, L. et al.⁸ The issue of user comfort data visualization and its simulation is analyzed cross-sectionally by Yoon,⁹ Abdelrahman M. M et al.¹⁰ Zheng, P. et al.,¹¹ and by Del Ama-Gonzalo, et al.,¹² focuses specifically on office buildings. All these issues are key to the future of architectural digital twins and the simulation and visualization of their behavior before their construction and after, managed through AI, their useful life. This is the new landscape to which we must get used to.

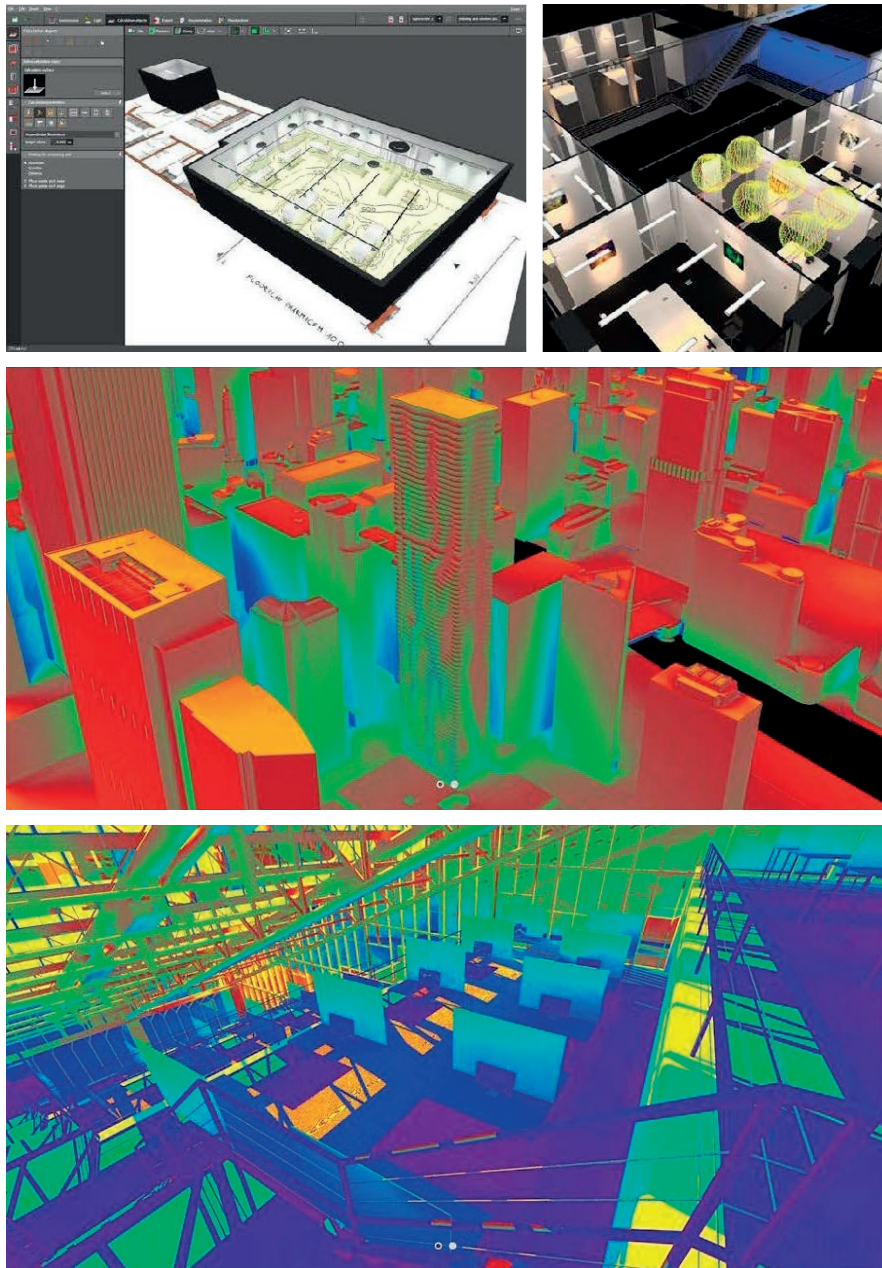


Figura 6. Simuladores de modelos de iluminación artificial DIALUX y de la irradiación solar de entornos urbanos e interiores arquitectónicos.

Figure 6. Simulators of DIALUX artificial lighting models and solar irradiation of urban environments and architectural interiors.

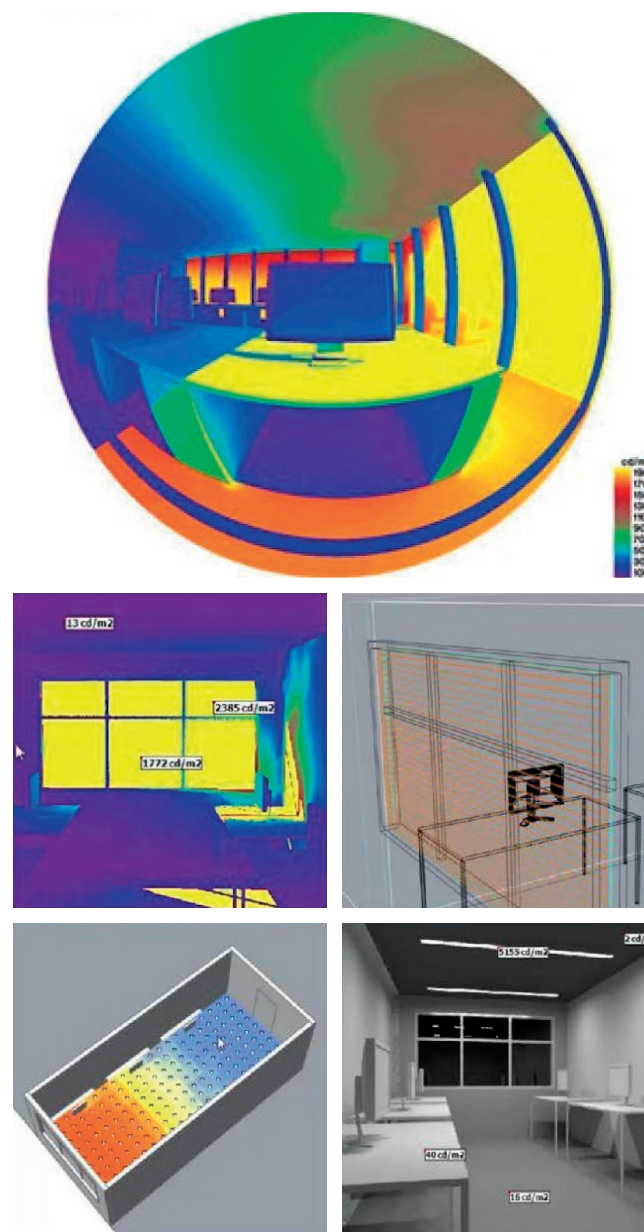


Figura 7. Desde un punto de vista más experimental a fecha de hoy se están empezando a integrar los sistemas de visualización DIVA, del *Sustainable Design Lab del MIT* que incorpora una serie de módulos especializados en temas de luz diurna, de asoleo anual, de sombreado, de control lumínico, de integración del control térmico y lumínico, etc.

Figure 7. From a more experimental point of view to date, the DIVA visualization systems are beginning to be integrated, from the MIT Sustainable Design Lab, which incorporates a series of modules specialized in daylight, annual sunlight, shading, light control, integration of thermal and light control...

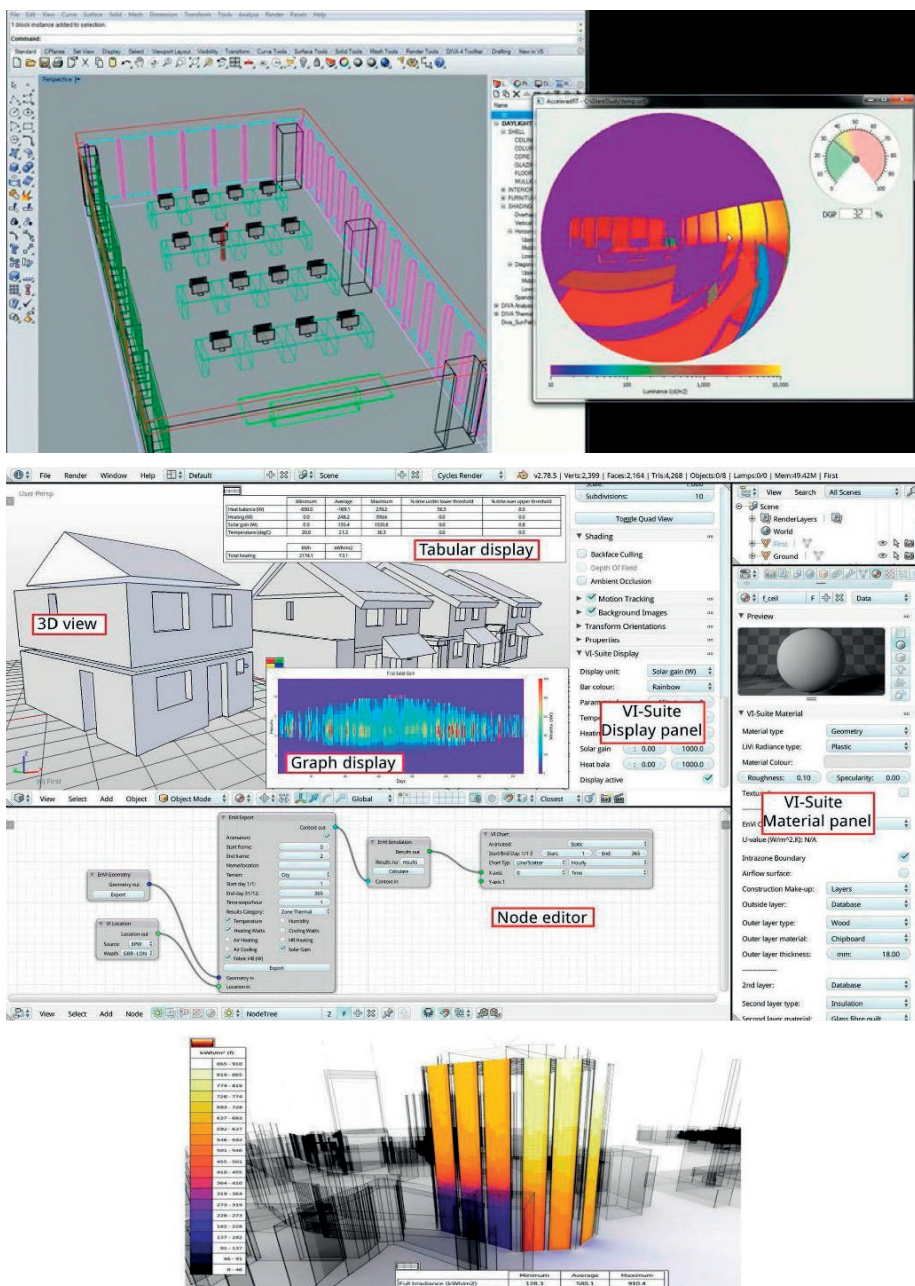


Figura 8. Algunas de estas aplicaciones y variantes ya están a disposición de las diferentes firmas y estudios de arquitectura sobre plataformas en fase de desarrollo o experimentales tipo VI-Suite desarrollada por la Universidad de Brighton.

Figure 8. Some of these applications and variants are already available to different architecture firms and studios on platforms under development or experimental type VI-Suite developed by the University of Brighton.



Figura 9. En el entorno arquitectónico, ya están surgiendo aplicaciones que analizan la ocupación en tiempo real de edificios de pública concurrencia o de flujos de circulación en entornos urbanos desarrollados sobre plataformas profesionales de la empresa Dassault, creadora de Catia.

Figure 9. In the architectural environment, applications are already emerging that analyze the occupation in real time of public buildings or circulation flows in urban environments developed on professional platforms from the company Dassault, creator of Catia.

CONCLUSIONES

Lo antes expuesto no deja de ser un ejercicio teórico, una propuesta de cómo se puede interpretar el estado de la cuestión en la investigación en el ámbito de la Expresión Gráfica Arquitectónica por medios digitales, desde la perspectiva de la experiencia docente e

CONCLUSIONS

The foregoing is still a theoretical exercise, a proposal on how the state of the art in research in the field of Architectural Graphic Expression through digital media can be interpreted, from the perspective of the teaching and research

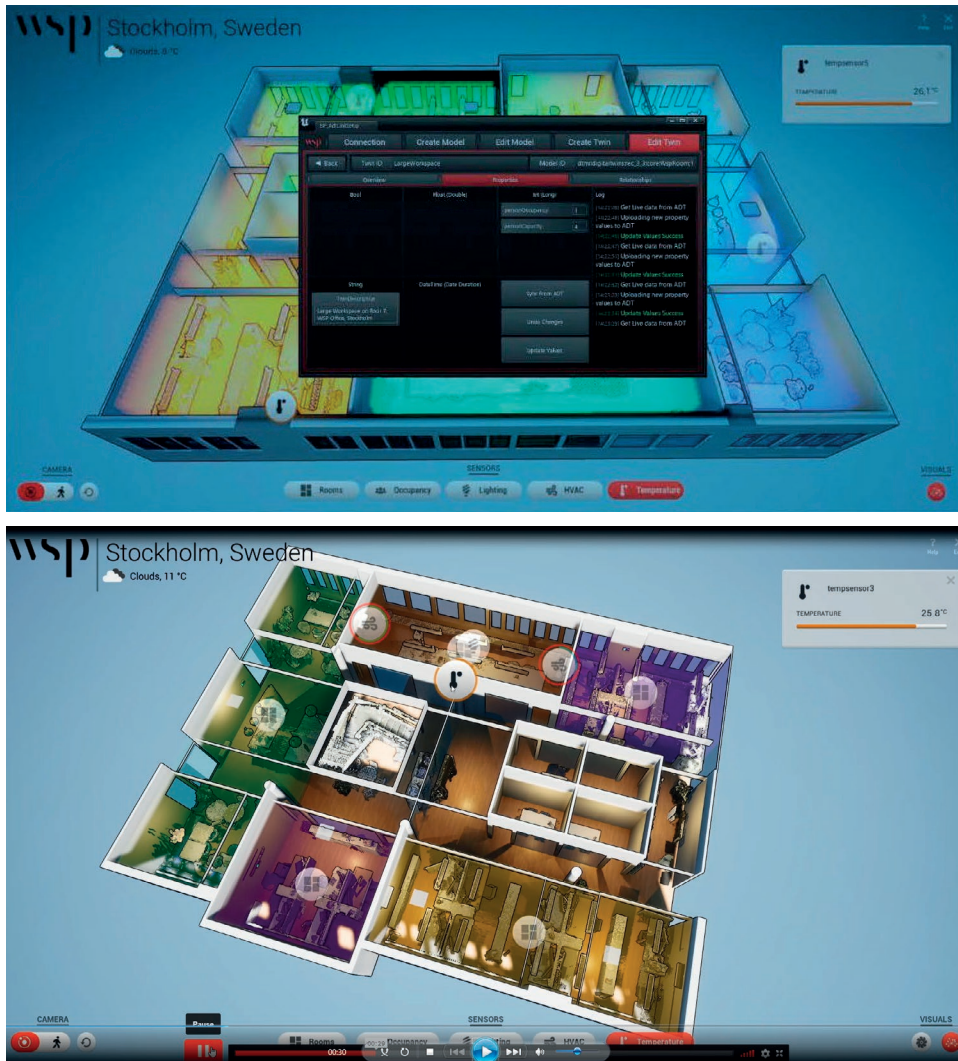


Figura 10. La última incorporación ha sido el módulo experimental WSP que integra la simulación de los sistemas de iluminación artificial, natural y de la ocupación, en Tiempo Real sobre Unreal Engine y BIM.

Figure 10. The latest addition has been the WSP experimental module that integrates the simulation of artificial, natural and occupancy lighting systems, in Real Time on Unreal Engine and BIM.

investigadora en la ETSAB. Eso no implica que sea un modelo que han de seguir desde el resto de los departamentos del área en las escuelas de Arquitectura. Cada una ha de desarrollar sus potencialidades dentro

experience at the ETSAB. This does not imply that it is a model that must be followed by the rest of the departments in the area in schools of Architecture. Each one has to develop its

de su contexto académico, social y económico específico y aportar pequeños granos de arena al nuevo conocimiento.

Lo que si tenemos claro es que el entorno BIM ampliado hacia el campo de la "sensorización" y monitorización en tiempo real de los edificios a lo largo de su vida útil unido a los métodos de visualización de los datos obtenidos en combinación con los nuevos sistemas de inteligencia artificial van a representar un gran salto cualitativo en nuestras capacidades de gestión de los proyectos arquitectónicos, empezando por los temas de eficiencia energética y uso de nuevos materiales sostenibles.

Nuestra aportación, en tanto que departamentos de representación arquitectónica, pasa por colaborar con los expertos y técnicos competentes en cada caso, aportando si cabe a los registros gráficos y visuales el factor perceptivo y humano, los aspectos cualitativos y subjetivos, no siempre parametrizables en los sistemas complejos antes expuestos, fruto de nuestra experiencia y formación en las artes visuales.

potential within its specific academic, social and economic context and contribute small grains of sand to new knowledge.

What we are clear about is that the BIM environment has expanded into the field of sensing and real-time monitoring of buildings throughout their useful life together with the methods of visualizing the data obtained in combination with the new systems. Artificial intelligence will represent a great qualitative leap in our architectural project management capabilities, starting with the issues of energy efficiency and the use of new sustainable materials.

Our contribution, as departments of Architectural Representation, involves collaborating with the competent experts and technicians in each case, contributing if possible, to the graphic and visual records the perceptive and human factor, the qualitative and subjective aspects, not always parametric in the complex systems previously exposed, the result of our experience and training in the visual arts.

Notas y Referencias

- ¹ *The Report of the Cabinet Office of the Government of Japan*. (ARI 10/2019 - 1/25/2019).
- ² European Construction Sector Observatory, *Digitalization in the Construction Sector. Analytical Report* (Comisión Europea, 2021).
- ³ European Construction Sector Observatory, *Building Information Modeling in the EU construction sector* (Comisión Europea, 2019).
- ⁴ Ver nota 3.
- ⁵ F. Araya, "Estado Del Arte Del Uso de Bim Para La Resolución de Demandas En Proyectos de Construcción," *Revista Ingeniería de Construcción* 34, no. 3 (2019): 299–306, <https://doi.org/10.4067/s0718-50732019000300299>.
- ⁶ Fábio Matoseiro Dinis et al., "Bim and Semantic Enrichment Methods and Applications: A Review of Recent Developments," *Archives of Computational Methods in Engineering* 29, no. 2 (2021): 879–95, <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09595-6>.
- ⁷ K., Koushan, M., Marzouk, y N., Bouchlaghem, "Building information modeling and energy performance simulation: An integrated approach to evaluate building energy performance," *Energy and Buildings*, no. 242 (2021).
- ⁸ Lenos Hadjidemetriou et al., "A Digital Twin Architecture for Real-Time and Offline High Granularity Analysis in Smart Buildings," *Sustainable Cities and Society* 98 (2023): 104795, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104795>.
- ⁹ Sungmin Yoon, "Virtual Sensing in Intelligent Buildings and Digitalization," *Automation in Construction* 143 (2022): 104578, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104578>

Notes and References

- ¹ *The Report of the Cabinet Office of the Government of Japan*. (ARI 10/2019 - 1/25/2019).
- ² European Construction Sector Observatory, *Digitalization in the Construction Sector. Analytical Report* (European Commission, 2021).
- ³ European Construction Sector Observatory, *Building Information Modeling in the EU construction sector* (European Commission, 2019).
- ⁴ See note 3.
- ⁵ F. Araya, "Estado Del Arte Del Uso de Bim Para La Resolución de Demandas En Proyectos de Construcción," *Revista Ingeniería de Construcción* 34, no. 3 (2019): 299–306, <https://doi.org/10.4067/s0718-50732019000300299>.
- ⁶ Fábio Matoseiro Dinis et al., "Bim and Semantic Enrichment Methods and Applications: A Review of Recent Developments," *Archives of Computational Methods in Engineering* 29, no. 2 (2021): 879–95, <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09595-6>.
- ⁷ K., Koushan, M., Marzouk, and N., Bouchlaghem, "Building information modeling and energy performance simulation: An integrated approach to evaluate building energy performance," *Energy and Buildings*, no. 242(2021).
- ⁸ Lenos Hadjidemetriou et al., "A Digital Twin Architecture for Real-Time and Offline High Granularity Analysis in Smart Buildings," *Sustainable Cities and Society* 98 (2023): 104795, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104795>.
- ⁹ Sungmin Yoon, "Virtual Sensing in Intelligent Buildings and Digitalization," *Automation in Construction* 143 (2022): 104578, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104578>

- ¹⁰ Mahmoud M. Abdelrahman, Adrian Chong, y Clayton Miller, "Personal Thermal Comfort Models Using Digital Twins: Preference Prediction with Bim-Extracted Spatial-Temporal Proximity Data from Build2vec," *Building and Environment* 207 (2022): 108532, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108532>.
- ¹¹ Peijun Zheng et al., "Interpretable Building Energy Consumption Forecasting Using Spectral Clustering Algorithm and Temporal Fusion Transformers Architecture," *Applied Energy* 349 (2023): 121607, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121607>.
- ¹² Fernando del Ama Gonzalo, Belén Moreno Santamaría, y Juan A. Hernández Ramos, "The influence of mean radiant temperature on healthy office buildings with glazed facades," en *Sustainable and Healthy Building Environments*, ed. Roberto Alonso González Lezcano, 219-244 (Nueva York: Nova Science Publishers, 2023).
- ¹⁰ Mahmoud M. Abdelrahman, Adrian Chong, and Clayton Miller, "Personal Thermal Comfort Models Using Digital Twins: Preference Prediction with Bim-Extracted Spatial-Temporal Proximity Data from Build2vec," *Building and Environment* 207 (2022): 108532, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108532>.
- ¹¹ Peijun Zheng et al., "Interpretable Building Energy Consumption Forecasting Using Spectral Clustering Algorithm and Temporal Fusion Transformers Architecture," *Applied Energy* 349 (2023): 121607, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121607>.
- ¹² Fernando del Ama Gonzalo, Belén Moreno Santamaría, and Juan A. Hernández Ramos, "The influence of mean radiant temperature on healthy office buildings with glazed facades," en *Sustainable and Healthy Building Environments*, ed. Roberto Alonso González Lezcano, 219-244 (New York, Nova Science Publishers, 2023).

BIBLIOGRAPHY

- Abdelrahman, Mahmoud M., Adrian Chong, and Clayton Miller. "Personal Thermal Comfort Models Using Digital Twins: Preference Prediction with Bim-Extracted Spatial-Temporal Proximity Data from Build2vec." *Building and Environment* 207 (2022): 108532. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108532>.
- Araya, F. "Estado del arte del uso de BIM para la resolución de demandas en proyectos de construcción." *Revista ingeniería de construcción* 34, no. 3 (2019): 299-306. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732019000300299>.
- Del Ama Gonzalo, Fernando, Belén Moreno Santamaría, and Juan A. Hernández Ramos "The influence of mean radiant temperature on healthy office buildings with glazed facades." In *Sustainable and Healthy Building Environments*, edited by Roberto Alonso González Lezcano, 219-244. New York, Nova Science Publishers, 2023.
- Dinis, Fábio Matoseiro, João Poças Martins, Ana Sofia Guimarães, and Bárbara Rangel. "Bim and Semantic Enrichment Methods and Applications: A Review of Recent Developments." *Archives of Computational Methods in Engineering* 29, no. 2 (2021): 879-95. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09595-6>.
- European Construction Sector Observatory. *Building Information Modeling in the EU construction sector*. European Commission, 2019.
- European Construction Sector Observatory. *Digitalization in the Construction Sector. Analytical Report*. European Commission, 2021.
- Hadjidemetriou, Lenos, Nearchos Stylianidis, Demetris Englezos, P. Papadopoulos, Demetrios Eliades, Stelios Timotheou, Marios M. Polycarpou, and Christos Panayiotou. "A Digital Twin Architecture for Real-Time and Offline High Granularity Analysis in Smart Buildings." *Sustainable Cities and Society* 98 (2023): 104795. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104795>.
- Koushan, K., Marzouk, M., and Bouchlaghem, N. "Building information modeling and energy performance simulation: An integrated approach to evaluate building energy performance." *Energy and Buildings*, no. 242 (2021). *The Report of the Cabinet Office of the Government of Japan*. (ARI 10/2019 - 1/25/2019).
- Yoon, Sungmin. "Virtual Sensing in Intelligent Buildings and Digitalization." *Automation in Construction* 143 (2022): 104578. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104578>.
- Zheng, Peijun, Heng Zhou, Jiang Liu, and Yosuke Nakanishi. "Interpretable Building Energy Consumption Forecasting Using Spectral Clustering Algorithm and Temporal Fusion Transformers Architecture." *Applied Energy* 349 (2023): 121607. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121607>.

Images source

1. author. 2. Ashraf Osman, Hager Sobhy. 3. Mendoza Partida architects. 4. Amstein+Walthert. 5. Dlubal. 6. DIALUX and DIVA-MIT. 7. MIT. DIVA. 8. Brighton University. 9. Marcel Dassault. Catia. 10. WSP. Stockholm.