

## Del BIM al Digital Twin. De la representación a la simulación.

Ernest Redondo Domínguez (1); David Fonseca Escudero (2); Mariana Palumbo Fernández (3) Luís Agustín Hernández (4); Luís A. Hernández Ibáñez (5)

(1) Departamento de Representación Arquitectónica, ETSAB-UPC; (2) Departamento de Ingeniería y Arquitectura. La Salle-BCN, URL; (3) Departamento de Tecnología en la Arquitectura. ETSAV-UPC; (4) Departamento de Arquitectura, UNIZAR; (5) Departamento de Ingeniería Civil, Universidade Da Coruña

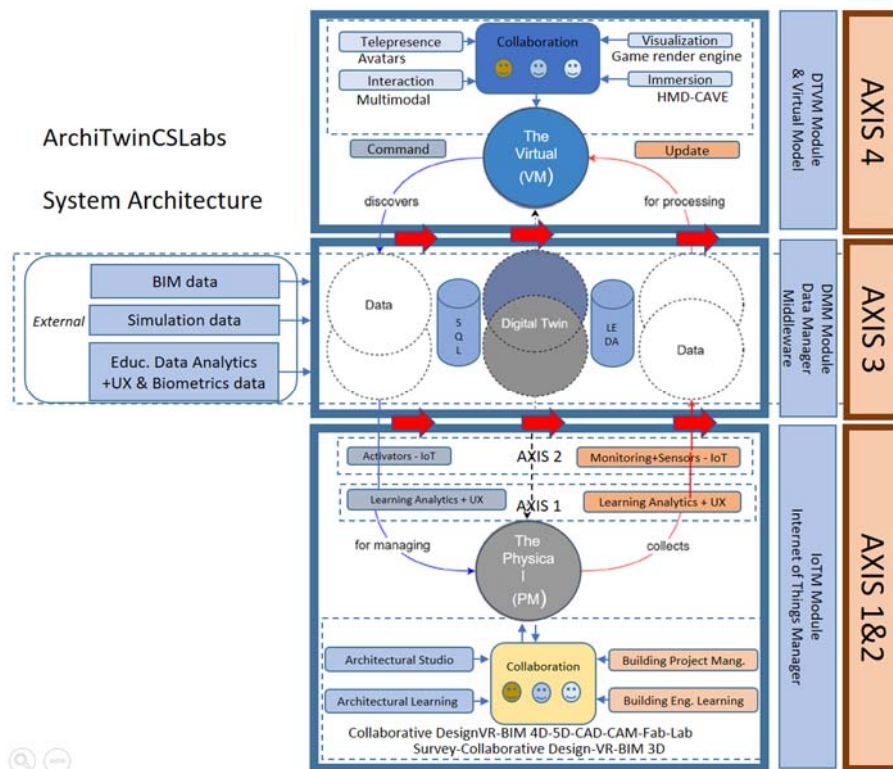


Figura 1. Esquema de la propuesta de un Digital Twin arquitectónico con incorporación de los usuarios. Ejes de trabajo y módulos estructurales; con las tareas específicas a llevar a cabo durante el proceso de construcción del objeto real, el virtual y su interconexión en el D.T.(E.Redondo)

### Resumen / Abstract

¿Es la Simulación una vía de evolución de nuestra área de conocimiento? Para responder a ello definimos un escenario hipotético, un proyecto de investigación interdisciplinar entre la enseñanza de la Arquitectura, los técnicos de la construcción, las ciencias de la computación, las TIC y el tratamiento seguro de los datos que los interrelacionan. La idea surge de la actual situación de pandemia, donde se comprueba la necesidad de respuestas ágiles en ámbitos como el educativo o el asistencial y en la de los proyectos arquitectónicos de emergencia social, que comportan la optimización de los recursos humanos, técnicos y económicos para agilizar las respuestas, acortar el tiempo de ejecución, disponer de una gestión en tiempo real de su construcción y funcionamiento, con las TIC como mediadoras obligadas. La propuesta consiste en diseñar, crear y evaluar, un par de aulas-salas polivalentes de pública concurrencia, utilizando derivados de la madera. La innovación de la misma radica en la simulación de un Digital Twin, DT, con la monitorización y seguimiento en todo momento, del proceso de diseño, ejecución, utilización, mantenimiento y de la experiencia de usuario y perceptiva de los docentes, estudiantes, técnicos y usuarios finales de los espacios.

### Palabras clave / Key words

Cinco palabras. Digital Twin arquitectónico-BIM; Laboratorio virtual; Diseño interactivo en tiempo real-Monitorización-IoT; Materiales y bienestar; UX-Minería de datos educativos y fisiológicos.

## 1. Introducción

Esta comunicación la podríamos definir como la hoja de ruta de una propuesta de proyecto de investigación para explorar los límites de la Representación Arquitectónica incidiendo en el diseño en Tiempo Real mediante fórmulas de trabajo colaborativo en línea a través la Realidad Virtual inmersiva, aplicada a la Modelización y Simulación física de unos espacios acotados en su programa, sistemas constructivos industrializados y materiales sostenibles. Todo ello inscrito en unos casos de estudio de investigación educativa que incorporen la Experiencia de Usuario y las Analíticas de Datos educativos y fisiológicos. Nuestra área, tras incorporar las TIC de forma natural ha ido evolucionado desde la Expresión gráfica primigenia con sus diversas sub-áreas, Dibujo Técnico, Geometría Descriptiva, Análisis de Formas, pasando por Rendering, el *Digital-Urban Sketching*, BIM, el Diseño Paramétrico, etc, para actualmente ir avanzando en la Modelización Virtual en Tiempo Real del funcionamiento de la ciudad y los edificios. Estos nuevos modelos virtuales integrales en su máximo nivel son los Digital Twins, y son posibles merced al trabajo multidisciplinar en colaboración con otros ámbitos como la Tecnología arquitectónica, los de *Building and Civil Engineering*, Geomática, Urbanismo, Proyectos, en los entornos combinados del BIM+SIG. Aspiramos pues a explorar los territorios de frontera hacia la Simulación, la Gamificación, la Virtualización y el *Collaborative Design on line*, con los valores añadidos de fomentar la implicación de los usuarios y los agentes activos en la construcción y gestión de ambientes arquitectónicos; la motivación, la sostenibilidad, la innovación y la transferencia, en sus vertientes sociales y económicos. El reto es formalizar dentro de un entorno docente un *Digital Twin*, DT o replica digital de unos espacios arquitectónicos; dos aulas-salas polivalentes, una interior y otra exterior, mediante el diseño colaborativo on-line en un entorno de Realidad Virtual inmersiva, integrando todos los agentes implicados; la evaluación en sensaciones tales como la percepción visual, táctil y acústica, del espacio resultante; simular y experimentar su funcionamiento físico y su uso flexible, respecto a un modelo equivalente real que también se construirá y monitorizará para integrar todos los datos resultantes en el DT. Para lograr ese objetivo partiremos de un sistema BIM donde se integrarán los datos de los dos espacios proyectados y construidos. De esta manera podemos agilizar y gestionar la construcción y el modelo virtual. En este entorno BIM ensayaremos sus modalidades avanzadas que incorpora el equipamiento tecnológico de los espacios, y así podremos definir un primer acercamiento al modelo DT. Tan solo recientemente, 2019, algunos países de la CE han adoptado la nueva norma ISO 19650 que implica el uso de normas establecidas internacionalmente e introduce algunos cambios en la forma en que se deben configurar los equipos, la colaboración en los proyectos y la forma en que se debe organizar y manejar la

información a lo largo de todo el proceso, la vida del proyecto arquitectónico.



Figura 2. Imágenes de los interfaces de gestión de dos Gemelos Digitales. Uno arquitectónico y otro urbano. Fuente

- a) <https://www.worktechacademy.com/digital-twin-transforming-facilities-management/>. 2021.
- b) <https://www.transportxtra.com/publications/local-transport-today/news/60866/digital-twins-modelling-world-2019-why-do-they-matter-for-transport-modellers-2019>

Estos estándares adoptados internacionalmente para nombrar y medir cosas, obtener y transmitir datos a *Smart Factories of Industry 4.0*, nos permitirán obtener datos utilizables en un DT. Falta un largo camino por recorrer para estandarizar los procesos y completar el ciclo del diseño arquitectónico, desde la idea primigenia hasta su reutilización tras el paso de los años, pero se están comenzando a documentar experiencias en este sentido, las cuales deben ser revisadas para avanzar en el conocimiento científico y tecnológico involucrado.

## 2. Marco teórico

Nuestro segundo objetivo es avanzar un poco en este camino de forma coral, acompañados por alumnos, técnicos y usuarios, llevando a cabo una experiencia integral, desde la idea hasta la construcción, pasando por la virtualización del objeto real, de su funcionamiento y uso para generar un DT, que permita evaluar los posibles cambios del modelo real a priori e interactuar con él en la media que cambien las condiciones de contorno y usos. El marco teórico de nuestra propuesta parte del Informe de la Oficina del Gabinete del Gobierno japonés sobre tecnología e innovación relacionada con la Sociedad 5.0, (

[http://www.realinstitutoelcano.org/wps/portal/rielcano\\_es/contenido?WCM\\_GLOBAL\\_CONTEXT.](http://www.realinstitutoelcano.org/wps/portal/rielcano_es/contenido?WCM_GLOBAL_CONTEXT.)) (ARI 10/2019 - 25/1/2019), 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 va más allá de Sociedad de la información (Sociedad 4.0). La 5.0 enfatiza la construcción de una sociedad rica centrada en el ser humano además del desarrollo económico frente a la eficiencia de la producción. Por eso es fundamental incorporar al usuario dentro del DT.

### 3. Estado de la cuestión.

Nos enfrentamos pues a un campo de investigación reciente y en rápida evolución, donde en los últimos cinco años podemos encontrar referencias en los trabajos de S. Boschert, R. Rosen, P. Hehenberger, D. Bradley (2016), R. Charef, H. Alaka, S. Emmitt, (2019), que junto al de Boje, C., Guerriero A., Kubicki S. y Rezgui, Y. (2020) revisan toda la bibliografía publicada sobre los desarrollos más recientes de Building Information Modelado (BIM) y su integración en los Digital Twin. Los antecedentes de estas estrategias aplicadas al urbanismo y la planificación de ciudades inteligentes, por citar investigaciones en un campo relacionado con la arquitectura, se pueden encontrar en los trabajos de S. Howell, Y. Rezgui, (2018), M. Tomko, S. Winter, (2019) y M. Batty, (2020). En cuanto a procesos constructivos, comparables al propuesto en nuestro proyecto, pero enfocado al uso de prefabricados de hormigón, cabe destacar el trabajo de G. Costa, L. Madrazo, (2015). Estas serían las referencias básicas por revisar.

### 4. Hipótesis generales.

La hipótesis central de nuestra propuesta es demostrar que sólo con un desarrollo integral del proceso de desarrollo y virtualización de los ambientes propuestos, desde el primer diseño hasta su gestión final, en una secuencia en la que el DT ocupa el lugar central, se logrará que estudiantes, docentes y agentes implicados en el proceso puedan identificar, evaluar, discutir y mejorar los entornos diseñados y los procesos docentes, constructivos y de gestión. Además, la inclusión de un DT en el currículo educativo del futuro arquitecto, arquitecto técnico, ingeniero civil, etc. a nivel de máster y doctorado supone una mejora sustancial en sus competencias. Cuando el concepto de DT se aplica al campo de la arquitectura, es fundamental que la arquitectura real (espacio físico) sea generada, escaneada, monitoreada y reproducida con el máximo rigor en computadoras (ciberespacio) incluyendo toda la información relevante, para poder desarrollar la DT. Requiere reproducir un modelo de construcción digital avanzado en el espacio virtual y usarlo para diseñar, interactuar o simular los complejos fenómenos físicos que pueden ocurrir en el

mundo real con alta precisión y velocidad computacional. La identificación de variables físicas en el mundo real y su inclusión, virtualización y gestión en el DT es uno de los retos del proyecto. Pero para que se puedan obtener resultados tangibles, es preciso acotar el objeto a diseñar, en nuestro caso lo hemos fijado en un aula-sala de polivalente de pública concurrencia; nosotros planteamos este proceso en dos entornos, uno interior y otro exterior, complementarios entre sí y usando en todo momento materiales derivados de la madera, en un contexto de economía circular.

### 5. Metodología.

La metodología de este proyecto de investigación se descompondría por ejes de trabajo. El eje 1 se centraría en la formación arquitectónica del diseño online colaborativo y en tiempo real (RT) sobre base BIM y Virtual Reality, VR inmersiva con incorporación del sonido ambiente y atributos físicos de los materiales, como parte de un DT, en dos casos de estudio centrados en el uso de la madera como material constructivo. El eje 2 se centraría en el levantamiento y definición de un BIM multi-dimensional que permita su enlace con procesos típicos Fab-Lab, permitiendo la construcción de los ambientes con ensayos de materiales homologados, e identificando las variables de comportamiento, tanto de los elementos constructivos como aspectos biométricos de los usuarios monitorizados. El eje 3 diseñaría e implementaría mediante cuestionarios estandarizados, sensores físicos y biométricos también normalizados etc instrumentos de visualización bidireccional y evaluación de los experimentos (cualitativo y cuantitativo). Además, definiría y analizaría la evolución académica y la percepción y experiencia de uso de los ambientes, todo ello en un nuevo entorno seguro de la gestión de los datos personales. El Eje 4 se encargará de la implementación del DT mediante un entorno de visualización colaborativo. VR/MR, (*Mixed Reality*) e interfaces naturales que integren los modelos BIM mediante motores de videojuegos en tiempo real con interfaces visuales, tipo gafas VR con integración del sonido ambiente y guantes hápticos VR para acotar el experimento a las opciones más factibles.

El Plan Nacional de Investigación e Innovación Científica y Técnica 2020, describe los retos principales que deben afrontar los proyectos de investigación. Entre todos ellos, y de forma prioritaria, queremos abordar el reto 7 definido como "Economía, sociedad y cultura digitales". Nuestra primera opción es que sí es factible sólo en compañía de otras áreas de conocimiento del ámbito, forzando los límites del conocimiento establecido. Por el momento y a falta de concretar la propuesta, dos estudios de viabilidad reflejados en sendas comunicaciones más de miembros del equipo de investigación aceptados en el congreso, las identificadas con los nº 169, sobre diseño y entornos colaborativo en *on line* y nº 191, sobre entornos virtuales inmersivos, aportan las primeras conclusiones.

### - Referencias.

Batty, M; 2020, The Coronavirus crisis: What will the post-pandemic city look like?, *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, Vol: 47-4, pp. 547-552

Boje, C., Guerriero A., Kubicki S. y Rezgui, Y. 2020, Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research; *Automation in Construction*, Vol. 114, 103179.

Boschert, S; Rosen, R; Hehenberger, P; Bradley, D. (Eds.), 2016; Digital twin—the simulation aspect, Springer International Publishing, *Mechatronic Futures*. pp. 59–74, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-32156-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-32156-1_5).

Costa, G; Madrazo, L.; 2015; Connecting building component catalogues with BIM models using semantic technologies: an application for precast concrete components; *Automation in Construction*, Vol. 57, pp.239-248.

Charef, R; Alaka, H; Emmitt, S.; 2019, Building Information Modelling adoption in the European Union: An overview; *Journal of Building Engineering*; Vol. 25, 100777.

Howell, S; Rezgui, Y; 2018, Water utility decision support through the semantic web of things; *Environmental Modelling & Software*; Vol. 102, pp. 94-114.

Tomko, M; Winter, S; 2019, Beyond digital twins – a commentary, *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, Vol. 46, pp.395–399, <https://doi.org/10.1177/2399808318816992>

### Datos biográficos de los autores

Ernest Redondo Domínguez. Dept. de Representación Arquitectónica. ETSAB-UPC [ernesto.redondo@upc.edu](mailto:ernesto.redondo@upc.edu)

Profesor Titular del departamento de Representación Arquitectónica de la UPC. Doctor en Arquitectura por la UPC, acreditado CU ANECA en 2019. Tercer sexenio concedido en 2017. Subdirector de Postgrados de la ETSAB (2011-2017). Director del grupo de investigación ADR&M, Arquitectura Representación y Modelización, e IP de diversos proyectos competitivos nacionales e internacionales. Líneas de investigación actuales: investigación educativa sobre el uso de las TICs aplicadas al ámbito de la arquitectura

David Fonseca Escudero. Departamento de Arquitectura-La Salle-URL. [david.fonseca@salle.url.edu](mailto:david.fonseca@salle.url.edu).

Entre 2011-14, realizó la gestión de proyectos de investigación en el campo de la arquitectura y la creación de GRETEL (Grupo Res. On Technology Enhanced Learning), reconocido-emergente por AGAUR (2014). IP proyecto MINECO. EDU2012-37247. Beca AQU en 2014; primer sexenio en 2015 (período 2009-2014). Profesor Contratado en la Escuela Técnica Superior de

Arquitectura de La Salle (2015); 2017, IP de GRETEL, enfocado en Minería de Datos Educativos, STEAM, Experiencia de Usuario o Tecnologías Híbridas. IP del proyecto (2016-2021): “EduGAME4CITY”, y del proyecto europeo ERASMUS + KA2: CreaSTEAM (2020-2022); Profesor Catedrático URL (2017-2021AQU); Producción: Más de 42 artículos en revistas indexadas,

Mariana Palumbo Fernández. Departamento de Tecnología en la Arquitectura- ETSAB-UPC. [mariana.palumbo@upc.edu](mailto:mariana.palumbo@upc.edu)

Realizo mis actividades científicas en Arquitectura Tecnológica. Mi investigación se centra en el uso de materiales biológicos para el aislamiento térmico de edificios, el comportamiento higrótérmico, su interacción con los ambientes interiores bajo una perspectiva de ciclo de vida. Doctorada “Cum Laude” 2015, realizado en el Grupo de Investigación GICITED (UPC) con beca FI-AGAUR. En 2017 obtuve una beca Juan de la Cierva Formación en el grupo de investigación AGACAPE de la Universitat Rovira i Virgili. Desde 2019 soy profesora lectora en la UPC e investigadora del grupo GICITED (UPC). He publicado 9 artículos científicos en revistas SCI JCR Q1

Luís Agustín Hernández. Departamento de Arquitectura. Universidad de Zaragoza. [lagustin@unizar.es](mailto:lagustin@unizar.es)

Arquitecto por la Universitat Politècnica de Catalunya 1993; Doctor en Ingeniería Mecánica. por la Universidad Alfonso X 2013. Prof. Titular Universidad. Hasta 2021 Director del Departamento de Arquitectura en UNIZAR. Docente en Área de Expresión Gráfica Arquitectónica de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Autor de más de 8 artículos en revistas indexadas JCR A&HSC y SLR. Y de más de 14 capítulos en libros o en monografías científicas. Miembro del Grupo de Investigación en Arquitectura (GIA) reconocido por el GOBIERNO DE ARAGÓN. Con el que ha participado en cuatro proyectos MINECO y más de 10 contratos competitivos.

Luís Antonio Hernández Ibáñez. Departamento de Ingeniería Civil. Universidade da Coruña. [luis.hernandez@udc.es](mailto:luis.hernandez@udc.es)

Arquitecto, Dr. Profesor TU. IP del videLAB (Grupo de Visualización y Visualización Avanzadas en Ingeniería y Arquitectura) en la Facultad de Ingeniería Civil UDC desde 1998. En 2013 IP del Grupo de Visualización y Cartografía [videLAB / cartoLAB: VAC]. Responsable de los estudios oficiales en la UDC, Máster en Videojuegos (2018) y Grado en Creación Digital, Animación y Videojuegos (2019). Su investigación se centra en la visualización avanzada e interactiva en Arquitectura, construcción e historia del patrimonio. Ha participado en 11 proyectos de investigación competitivos y en 88 contratos I + D + i con instituciones públicas.