

JIDA'24

XII JORNADAS
SOBRE INNOVACIÓN DOCENTE
EN ARQUITECTURA

WORKSHOP ON EDUCATIONAL INNOVATION
IN ARCHITECTURE JIDA'24

JORNADES SOBRE INNOVACIÓ
DOCENT EN ARQUITECTURA JIDA'24

GRADO EN ARQUITECTURA, UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS, URJC
21 Y 22 DE NOVIEMBRE DE 2024



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Organiza e impulsa **Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech (UPC)**

Editores

Berta Bardí-Milà, Daniel García-Escudero

Edita

Iniciativa Digital Politècnica Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC

ISBN 978-84-10008-81-6 (IDP-UPC)

eISSN 2462-571X

© de los textos y las imágenes: los autores

© de la presente edición: Iniciativa Digital Politècnica Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC



Esta obra está sujeta a una licencia Creative Commons:
Reconocimiento - No comercial - SinObraDerivada (cc-by-nc-nd):

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Cualquier parte de esta obra se puede reproducir sin autorización pero con el reconocimiento y atribución de los autores.

No se puede hacer uso comercial de la obra y no se puede alterar, transformar o hacer obras derivadas.

Comité Organizador JIDA'24

Dirección y edición

Berta Bardí-Milà (UPC)

Dra. Arquitecta, Departamento de Proyectos Arquitectónicos, ETSAB-UPC

Daniel García-Escudero (UPC)

Dr. Arquitecto, Departamento de Proyectos Arquitectónicos, ETSAB-UPC

Organización

Raquel Martínez Gutiérrez (URJC)

Arquitecta, Proyectos Arquitectónicos, EIF-URJC

Joan Moreno Sanz (UPC)

Dr. Arquitecto, Departamento de Urbanismo, Territorio y Paisaje, ETSAB-UPC

Irene Ros Martín (URJC)

Dra. Arquitecta Técnica, Construcciones Arquitectónicas, EIF-URJC, Coordinadora Académica Programa Innovación Docente CIED

Raquel Sardá Sánchez (URJC)

Dra. Bellas Artes, FAH-URJC, Vicedecana de Infraestructuras, Campus y Laboratorios FAH

Judit Taberna Torres (UPC)

Arquitecta, Departamento de Representación Arquitectónica, ETSAB-UPC

Ignacio Vicente-Sandoval González (URJC)

Arquitecto, Construcciones Arquitectónicas, EIF-URJC

Coordinación

Alba Arboix Alió (UB)

Dra. Arquitecta, Departamento de Artes Visuales y Diseño, UB

Comité Científico JIDA'24

Francisco Javier Abarca Álvarez

Dr. Arquitecto, Urbanismo y ordenación del territorio, ETSAGr-UGR

Luisa Alarcón González

Dra. Arquitecta, Proyectos Arquitectónicos, ETSA-US

Lara Alcaina Pozo

Arquitecta, Proyectos Arquitectónicos, EAR-URV

Atxu Amann Alcocer

Dra. Arquitecta, Ideación Gráfica Arquitectónica, ETSAM-UPM

Serafina Amoroso

Dra. Arquitecta, Proyectos Arquitectónicos, EIF-URJC

Irma Arribas Pérez

Dra. Arquitecta, ETSALS

Raimundo Bambó Naya

Dr. Arquitecto, Urbanismo y ordenación del territorio, EINA-UNIZAR

Enrique Manuel Blanco Lorenzo

Dr. Arquitecto, Proyectos Arquitectónicos, Urbanismo y Composición, ETSAC-UdC

Belén Butragueño

Dra. Arquitecta, Ideación gráfica, University of Texas in Arlington, TX, USA

Francisco Javier Castellano-Pulido

Dr. Arquitecto, Proyectos Arquitectónicos, eAM¹-UMA

Raúl Castellanos Gómez

Dr. Arquitecto, Proyectos Arquitectónicos, ETSA-UPV

Nuria Castilla Cabanes

Dra. Arquitecta, Construcciones arquitectónicas, ETSA-UPV

David Caralt

Arquitecto, Universidad San Sebastián, Chile

Eva Crespo

Dra. Arquitecta, Tecnología de la Arquitectura, ETSAB-UPC

Rafael Córdoba Hernández

Dr. Arquitecto, Urbanismo y Ordenación del territorio, ETSAM-UPM

Rafael de Lacour Jiménez

Dr. Arquitecto, Proyectos Arquitectónicos, ETSAGr-UGR

Eduardo Delgado Orusco

Dr. Arquitecto, Proyectos Arquitectónicos, EINA-UNIZAR

Débora Domingo Calabuig

Dra. Arquitecta, Proyectos Arquitectónicos, ETSA-UPV

Elena Escudero López

Dra. Arquitecta, Urbanística y Ordenación del Territorio, EIF-URJC

Antonio Estepa

Dr. Arquitecto, Representación Arquitectónica, USJ

Sagrario Fernández Raga

Dra. Arquitecta, Composición Arquitectónica, ETSAVA-Uva

Nieves Fernández Villalobos

Dra. Arquitecta, Teoría de la Arquitectura y Proyectos Arquitectónicos, ETSAVA-Uva

Arturo Frediani Sarfati

Dr. Arquitecto, Proyectos Arquitectónicos, ETSA-URV

Jessica Fuentealba Quilodrán

Dra. Arquitecta, Diseño y Teoría de la Arquitectura, UBB, Chile

David García-Asenjo Llana

Dr. Arquitecto, Composición Arquitectónica, EIF-URJC y UAH

Pedro García Martínez

Dr. Arquitecto, Arquitectura y Tecnología de la Edificación, ETSAE-UPCT

Eva Gil Lopesino

Dra. arquitecta, Proyectos Arquitectónicos, IE University, Madrid

David Hernández Falagán

Dr. Arquitecto, Teoría e Historia de la Arquitectura, ETSAB-UPC

Ana Eugenia Jara Venegas

Arquitecta, Universidad San Sebastián, Chile

José M^a Jové Sandoval

Dr. Arquitecto, Teoría de la Arquitectura y Proyectos Arquitectónicos, ETSAVA-UVA

Alfredo Llorente Álvarez

Dr. Arquitecto, Construcciones Arquitectónicas, Ingeniería del Terreno y Mecánicas de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras, ETSAVA-UVA

Carlos Marmolejo Duarte

Dr. Arquitecto, Gestión y Valoración Urbana, ETSAB-UPC

María Pura Moreno Moreno

Dra. Arquitecta y Socióloga, Composición Arquitectónica, EIF-URJC

Isidro Navarro Delgado

Dr. Arquitecto, Representación Arquitectónica, ETSAB-UPC

David Navarro Moreno

Dr. Ingeniero de Edificación, Arquitectura y Tecnología de la Edificación, ETSAE-UPCT

Olatz Ocerin Ibáñez

Arquitecta, Dra. Filosofía, Construcciones Arquitectónicas, ETSA EHU-UPV

Roger Paez

Dr. Arquitecto, Elisava Facultat de Disseny i Enginyeria, UVic-UCC

Andrea Parga Vázquez

Dra. Arquitecta, Expresión gráfica, Departamento de Ciencia e Ingeniería Náutica, FNB-UPC

Oriol Pons Valladares

Dr. Arquitecto, Tecnología de la Arquitectura, ETSAB-UPC

Janina Puig Costa

Arquitecta, Dra. Humanidades, Representación Arquitectónica, ETSAB-UPC

Amadeo Ramos Carranza

Dr. Arquitecto, Proyectos Arquitectónicos, ETSA-US

Ernest Redondo

Dr. Arquitecto, Representación Arquitectónica, ETSAB-UPC

Gonzalo Ríos-Vizcarra

Dr. Arquitecto, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú

Emilia Román López

Dra. Arquitecta, Urbanismo y ordenación del territorio, ETSAM-UPM

Borja Ruiz-Apiláñez

Dr. Arquitecto, UyOT, Ingeniería Civil y de la Edificación, EAT-UCLM

Patricia Sabín Díaz

Dra. Arquitecta, Proyectos Arquitectónicos, Urbanismo y Composición, ETSAC-UdC

Marta Serra Permanyer

Dra. Arquitecta, Teoría e Historia de la Arquitectura, ETSAV-UPC

Josep Maria Solé Gras

Arquitecto, Urbanismo y Ordenación del Territorio, EAR-URV

Koldo Telleria Andueza

Arquitecto, Urbanismo y Ordenación del Territorio, ETSA EHU-UPV

Ramon Torres Herrera

Dr. Físico, Departamento de Física, ETSAB-UPC

Natalia Uribe Lemarie

Dra. Arquitecta, Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

Francesc Valls Dalmau

Dr. Arquitecto, Representación Arquitectónica, ETSAB-UPC

José Vela Castillo

Dr. Arquitecto, Culture and Theory in Architecture and Idea and Form, IE School of Architecture and Design, IE University, Segovia

Ferran Ventura Blanch

Dr. Arquitecto, Departamento Arte y Arquitectura, ETSA-UMA

Isabel Zaragoza

Dra. Arquitecta, Representación Arquitectónica, ETSAB-UPC

ÍNDICE

1. **Simulando un proceso judicial: cuando lo analógico prevalece. *Simulating a judicial process: when analog prevails.*** Lizundia-Uranga, Iñigo; Azcona-Urbe, Leire.
2. **Aprender con la Inteligencia Artificial: aplicación en un aula sobre cartografía operativa. *Learning with Artificial Intelligence: application in an operative mapping course.*** García-Pérez, Sergio; Sancho-Mir, Miguel.
3. **Digitalmente analógico: simular (digitalmente) lo que representa (analógico). *Digitally analog: simulating (digitally) what it represents (analog).*** Álvarez-Agea, Alberto.
4. **Reto climático: proyectar para la subida del nivel del mar. *Climate challenge: designing for sea level rise.*** Ovalle Costal, Daniel; Guardiola-Víllora, Arianna.
5. **Development of a materials library within the university library: analogue and digital link. *Desarrollar una materioteca en la biblioteca universitaria: con lo analógico y lo digital.*** Zamora-Mestre, Joan-Lluís; Mena-Arroyo, Raquel-Valentina; Serra-Fabregà, Raül.
6. **Rehacer, no deshacer: insistencia de la representación manual en taller. *Redo, not undo: insistence on manual representation in the studio.*** Pérez-García, Diego.
7. **Proyecto Virtual y Analógico de rehabilitación de Siedlungen 1950-70 en Mainz, Alemania. *Virtual and Analogue Project for the rehabilitation of Siedlungen 1950-70 in Mainz, Germany.*** Pelegrín-Rodríguez, Marta; Pérez-Blanco, Fernando.
8. **Imaginabilidad de la sociedad analógica-digital: ecosistemas gráficos de derivas urbanas. *Imaginability of the analogue-digital society: graphic ecosystems of urban drifts.*** Barrale, Julián; Waidler, Melanie; Higuera, Ester; Seve, Bruno.
9. **La pompa de jabón: estudio experimental y digital de las superficies mínimas. *The soap bubble: experimental and digital study of minimal surfaces.*** Salazar-Lozano, María del Pilar; Alonso-Pedrero, Fernando; Morán-García, Pilar.
10. **Experiencia metodológica en la introducción de la perspectiva de género en el proyecto. *Methodological experience in introducing a gender perspective into the project.*** López-Bahut, Emma.
11. **Los ladrillos no son digitales: la experiencia táctil en la docencia de construcción. *Bricks are not digital: the tactile experience in construction teaching.*** Arias Madero, Javier.

12. **El espacio del cuerpo / el cuerpo del espacio: experiencias físicas y digitales y viceversa. *The space of the body/the body of space: Physical and digital experiences and vice versa.*** Ramos-Jular, Jorge; Rizzi, Valentina.
13. **Dibujar el diseño: técnicas de expresión artística aplicadas al diseño industrial. *Drawing the Design: techniques of artistic expression applied to industrial design.*** Prado-Acebo, Cristina; Río-Vázquez, Antonio S.
14. **Reflexiones desde la Composición Arquitectónica ante la IA: dilemas y retos. *Reflections from Architectural Composition on AI: dilemmas and challenges.*** Pinzón-Ayala, Daniel.
15. **Estrategias comunicativas para la arquitectura: del storyboard al reel de Instagram. *Communication strategies for architecture: from storyboard to Instagram reel.*** Martín López, Lucía; De Jorge-Huertas, Virginia.
16. **De la imagen al prompt, y viceversa: IA aplicada a la Historia del Arte y la Arquitectura. *From image to prompt, and viceversa: AI applied to the History of Art and Architecture.*** Minguito-García, Ana Patricia; Prieto-González, Eduardo.
17. **Narrativas visuales en la enseñanza de la arquitectura Post-Digital. *Visual Narratives in Post-Digital Architectural Learning.*** González-Jiménez, Beatriz S.; Núñez-Bravo, Paula M.
18. **Dibujar rápido, dibujar despacio: la dicotomía del aprendizaje de la representación arquitectónica. *Draw fast, draw slow: the dichotomy in learning architectural representation.*** De-Gispert-Hernandez, Jordi; Moliner-Nuño, Sandra; Crespo-Cabillo, Isabel; Sánchez-Riera, Albert.
19. **Del paradigma mecánico al digital: diseño de prototipos desplegable. *From analog to digital paradigm: design of deployable prototypes.*** Peña Fernández - Serrano, Martino.
20. **Introducción de inteligencia artificial en la evaluación de asignaturas de teoría e historia. *Introduction of artificial intelligence for the assessment of theory and history subjects.*** Fabrè-Nadal, Martina; Sogbe-Mora, Erica.
21. **Haciendo arquitectura con las instalaciones: una experiencia mediante realidad virtual. *Making architecture with building services: an experience through virtual reality.*** García Herrero, Jesús; Carrascal García, Teresa; Bellido Palau, Miriam; Gallego Sánchez-Torija, Jorge.
22. **Talleres interdisciplinarios de diseño de espacio educativo con técnicas analógicas y digitales. *Interdisciplinary workshops on educational space design with analog and digital techniques.*** Genís-Vinyals, Mariona; Gisbert-Cervera, Mercè; Castro-Hernández, Lucía; Pagès-Arjona, Ignasi.

23. **Analogías de un viaje. *Analogies of a trip.*** Àvila-Casademont, Genís; de Gispert-Hernández, Jordi; Moliner-Nuño, Sandra; Sánchez-Riera, Albert.
24. **El gemelo digital en arquitectura: integración de los aspectos ambientales al proceso de proyecto. *The Digital Twin in Architecture: integrating environmental aspects into the design process.*** González Torrado, Cristian.
25. **Registro físico-digital del territorio: experiencia inmersiva de iniciación arquitectónica. *Physical-digital registration of the territory: inmesirve architectural initiation experience.*** Galleguillos-Negróni, Valentina; Mazzarini-Watts, Piero; Novoa López-Hermida, Alberto.
26. **Hitos infraestructurales como detonantes del proyecto de arquitectura. *Infrastructural landmarks as triggers for the architectural project.*** Loyola- Lizama, Ignacio; Latorre-Soto, Jaime; Ramirez-Fernandez, Rocio.
27. **Proyectar arquitectura: entre la postproducción manipulada y la cotidianidad ensamblada. *Design architecture: between manipulated post-production and assembled everyday.*** Montoro-Coso, Ricardo; Sonntag, Franca Alexandra.
28. **De Grado a Postgrado: imaginarios colectivos en entornos digitales. *From undergraduate to postgraduate: collective imaginaries in digital environments.*** Casino-Rubio, David; Pizarro-Juanas, María José; Rueda-Jiménez, Óscar; Ruiz-Bulnes, Pilar.
29. **Genealogías [In]verosímiles: un método de aprendizaje colaborativo digital basado en la investigación. *[Un]thinkable Genealogies: a digital collaborative learning method based on the investigation.*** Casino-Rubio, David; Pizarro-Juanas, María José; Rueda-Jiménez, Óscar; Ruiz-Bulnes, Pilar.
30. **Vanguardias receptivas: estrategias híbridas para el desarrollo de aprendizaje de la arquitectura. *Receptive vanguards: hybrid strategies for architecture learning development.*** Pérez-Tembleque Laura; González-Izquierdo, José Manuel; Barahona Garcia, Miguel.
31. **De lógicas y dispositivos [con]textuales. *Of logics and [con]textual devices.*** Pérez-Álvarez, María Florencia; Pugni, María Emilia.
32. **Estudio Paisaje: red de actores y recursos agroecológicos metropolitanos (ApS UPM). *Estudio Paisaje: network of metropolitan agroecological actors and resources (ApS UPM).*** Arques Soler, Francisco; Lapayese Luque, Concha; Martín Sánchez, Diego; Udina Rodríguez, Carlo.
33. **Pedagogías socialmente situadas en Arquitectura: un repositorio de métodos y herramientas. *Socially situated architectural pedagogies: a repository of tools and methods.*** Vargas-Díaz, Ingrid; Cimadomo, Guido; Jiménez-Morales, Eduardo.

34. **La autopsia de la idea: el boceto como herramienta de análisis aplicado a la docencia. *The autopsy of the idea: the sketch as an analysis tool applied to teaching.*** López Coteló, Borja Ramón; Alonso Oro, Alberto.
35. **Enseñanza de teoría arquitectónica desde la autorregulación: la IA en el pensamiento reflexivo. *Teaching architectural theory from self-regulation: AI in reflexive thinking.*** San Andrés Lascano, Gilda.
36. **Fotogrametría digital automatizada y aprendizaje inicial del Dibujo de Arquitectura. *Automated Digital Photogrammetry and Initial Learning of Architectural Drawing.*** Moya-Olmedo, Pilar; Sobrón Martínez, Luis de; Sotelo-Calvillo, Gonzalo; Martínez Díaz, Ángel.
37. **Construcción y comunicación gráfica de la arquitectura: aprendiendo con Realidad Aumentada. *Graphic Construction and Communication of Architecture: learning with Augmented Reality.*** Moya-Olmedo, Pilar; Sobrón Martínez, Luis de; Sotelo-Calvillo, Gonzalo; Martínez Díaz, Ángel.
38. **De lo individual a lo colectivo, y viceversa: arquitectura para la convivencia. *From the Individual to the collective, and vice versa: architecture for coexistence.*** Gatica-Gómez, Gabriel; Sáez-Araneda, Ignacio.
39. **Plazas y juventud: herramientas mixtas de codiagnóstico y codiseño para la innovación. *Squares and youth: mixed co-diagnostic and co-design tools for innovation.*** Garrido-López, Fermina; Urda-Peña, Lucilar.
40. **KLIK: acciones de activación como metodología de aprendizaje. *KLIK: activation actions as learning methodology.*** Grijalba, Olatz; Campillo, Paula; Hierro, Paula.
41. **La IA en la enseñanza de la historia del arte: un caso práctico. *AI in the teaching of art history: a Case Study.*** Ruiz-Colmenar, Alberto; Mariné-Carretero, Nicolás.
42. **Taller de Arquitectos de la comunidad rural: integrando lo virtual y lo analógico. *Rural Community Architects Workshop: integrating virtual and analogue.*** De Manuel Jerez, Esteban; López de Asiain Alberich, María; Donadei, Marta; Bravo Bernal, Ana.
43. **El cuaderno de campo analógico en convivencia con el entorno digital en el aprendizaje de diseño. *The analogical field notebook in coexistence with the digital environment in design learning.*** Aguilar-Alejandro, María; Fernández-Rodríguez, Juan Francisco; Martín-Mariscal, Amanda.
44. **Entre el imaginario y la técnica: herramientas gráficas para la conceptualización del paisaje. *Between imaginary and technique: graphic tools for conceptualizing landscapes.*** Gómez-Lobo, Noemí; Rodríguez-Illanes, Alba; Ribot, Silvia.

45. **Maquetas y prototipos en diseño: del trabajo manual a la fabricación digital. *Models and prototypes in design: from handwork to digital fabrication.*** Fernández-Rodríguez, Juan Francisco; Aguilar-Alejandre, María; Martín-Mariscal, Amanda.
46. **Actos pedagógicos entre bastidores: artesanos y programadores. *Pedagogical acts in the backstage: between craftsmen and programmers.*** Sonntag, Franca Alexandra; Montoro-Coso, Ricardo.
47. **Cinco minutos en saltárselo: el TFG y los trabajos académicos a la luz de la Inteligencia Artificial. *Five minutes to evade it: the Final Degree Project (TFG) and academic papers in the light of Artificial Intelligence.*** Echarte Ramos, Jose María.
48. **Retos en la creación de contextos educativos digitales desde una perspectiva de género. *Challenges in creating digital educational contexts from a gender perspective.*** Alba-Dorado, María Isabel; Palomares-Alarcón, Sheila.
49. **La ciudad digital: nuevas perspectivas urbanas a través de las redes sociales geolocalizadas. *The digital city: new urban perspectives through Location-Based Social Networks.*** Bernabeu-Bautista, Álvaro; Huskinson, Mariana; Serrano-Estrada, Leticia.
50. **Inteligencia Expandida: exploraciones pedagógicas de diseño discursivo texto-imagen. *Expanded Intelligence: pedagogical explorations of text-image discursive design.*** Lobato-Valdespino, Juan Carlos; Flores-Romero, Jorge Humberto.
51. **BIP-StUDent: una experiencia de intercambio innovadora para el aprendizaje del urbanismo. *BIP-StUDent: an innovative exchange experience for urban learning.*** Novella-Abril, Inés; Deltoro-Soto, Julia; Thiel, Sophie; Wotha, Brigitte.
52. **Las máquinas de mirar: exploraciones pedagógicas en el inicio de las tecnologías inmersivas. *The Viewing Machines: Pedagogical Explorations at the Dawn of Immersive Technologies.*** Carrasco-Purull, Gonzalo; Salvatierra-Meza, Belén.
53. **Cartografías proyectivas como herramienta para repensar los paisajes operacionales. *Projective cartographies as a tool to rethink operational landscapes.*** Ribot, Silvia; R. Illanes, Alba.
54. **Modelado BIM en el Diseño Residencial: estrategias paramétricas de Arquitectura Digital. *BIM Modeling in Residential Design: Parametric strategies of Digital Architecture.*** Manzaba-Carvajal, Ghyslaine; Valencia-Robles, Ricardo; Romero-Jara, María; Cuenca-Márquez, César.
55. **La creación de un espacio de aprendizaje virtual en torno al habitar contemporáneo. *The creation of a virtual learning environment around contemporary living architecture.*** Alba-Dorado, María Isabel.

56. **Análogo a digital, viaje de ida y vuelta. *Analog to digital, round-trip journey.*** Loyola-Lizama, Ignacio; Sarmiento-Lara, Domingo.
57. **Tocando la arquitectura: experiencia y dibujo análogo como herramienta de proyectación en arquitectura. *Touching architecture: experience and analog drawing as a design tool in architecture.*** Estrada-Gil, Ana María; López-Chalarca, Diego Alonso; Suárez-Velásquez, Ana Mercedes; Aguirre-Gómez, Karol Michelle.
58. **Un curso de Proyectos I: escalando el proyecto, el aula y el aprendizaje. *A Projects I Course: scaling project, classroom, and learning.*** Alonso-García, Eusebio; Blanco-Martín, Javier.
59. **Aplicación de la IA en los marcos teóricos: desafíos del Plan de Tesis de Arquitectura. *Application of AI in theoretical frameworks: challenges of the Architectural Thesis Plan.*** Butrón- Revilla, Cinthya; Manchego-Huaquipaco, Edith Gabriela; Prado-Arenas, Diana.

El gemelo digital en arquitectura: integración de los aspectos ambientales al proceso de proyecto

The Digital Twin in Architecture: integrating environmental aspects into the design process

González Torrado, Cristian

Departamento de Proyectos Arquitectónicos, ETSAB, UPC

cristian.gonzalez.torrado@upc.edu

Abstract

The document examines the use of Digital Twins in architecture as a key tool for integrating environmental aspects into the design process. Defined as a real-time digital representation of a physical system, the Digital Twin allows for the simulation and prediction of architectural outcomes, facilitating decision-making based on complex data. This technology is particularly useful in architectural education, enabling students to experiment with and adjust designs in a virtual environment, fostering more practical and critical learning. The text highlights that the implementation of Digital Twins not only improves resource efficiency and reduces environmental impact but also transforms architectural education, promoting a more active and collaborative role for both students and educators.

Keywords: architecture, digital twin, process of project, sustainability.

Thematic areas: architectural projects, active methodologies, environmental technology.

Resumen

El documento examina el uso de los Gemelos Digitales en arquitectura como una herramienta clave para integrar aspectos ambientales en el proceso de diseño. Definido como una representación digital en tiempo real de un sistema físico, el Gemelo Digital permite simular y prever resultados arquitectónicos, facilitando la toma de decisiones basada en datos complejos. Esta tecnología es especialmente útil en la educación de arquitectos, permitiendo a los estudiantes experimentar y ajustar diseños en un entorno virtual, fomentando un aprendizaje más práctico y crítico. El texto subraya que la implementación de Gemelos Digitales no solo mejora la eficiencia en el uso de recursos y reduce el impacto ambiental, sino que también transforma la educación arquitectónica, promoviendo un rol más activo y colaborativo de los estudiantes y docentes.

Palabras clave: arquitectura, gemelo digital, proceso de proyecto, sostenibilidad.

Bloques temáticos: proyectos arquitectónicos, metodologías activas, tecnología medioambiental.

Resumen datos académicos

Titulación: Arquitectura

Nivel/curso dentro de la titulación: Máster Universitario en Arquitectura

Denominación oficial asignatura, experiencia docente, acción:
Arquitectura y emergencia ambiental

Departamento/s o área/s de conocimiento: Proyectos Arquitectónicos

Número profesorado: 5

Número estudiantes: 40

Número de cursos impartidos: 4

Página web o red social: <https://marqetsab.masters.upc.edu/ca>

Publicaciones derivadas:

Gonzalez, C. **Aspectos ambientales: objetivos y estrategias: Casa Arvesú, Alejandro de la Sota.** *FUARIENS VI*. Palimpsesto Editorial. 2022. Pàgs.: 106 ~ 117. ISBN: 978-84-948256-6-8. <<http://hdl.handle.net/2117/365409>>

Arquitectura e impacto ambiental: el proyecto como método. Recolectores Urbanos (RU editorial). 2023. ISBN: 9788412314144.

Introducción

¿Qué sucedería si se pudiera predecir con precisión el comportamiento de un edificio antes de su construcción, o si los estudiantes pudieran iterar las decisiones de diseño en tiempo real? En la era digital, esta cuestión ya no es un futuro más, sino una realidad emergente plausible gracias a los entornos virtuales de aprendizaje, entre los cuales el gemelo digital se posiciona como una de las tecnologías más propias para el arquitecto y su formación.

En el ámbito académico, donde se encuentra la teoría con la práctica, el gemelo digital resulta una herramienta útil por su capacidad de simular y anticipar virtualmente el resultado construido del proyecto arquitectónico, pero sobre todo por su competencia en cuanto a la gestión de datos complejos y de naturaleza múltiple, que permite al proyectista/alumno disponer de la información objetiva necesaria para la toma de decisiones en el proceso de diseño, en general, y de los aspectos ambientales, en particular.

Ante esta realidad ascendente, ¿Cómo esta tecnología puede cambiar realmente la forma en cómo se enseña y aprende arquitectura? Para dar respuesta a la pregunta planteada, la presente comunicación se divide en 4 bloques temáticos:

- Evolución de los Entornos Virtuales de Aprendizaje (EVA).
- Gemelo digital: Definición, Método y Objetivos
- El gemelo digital en el plan de estudios de arquitectura
- Conclusiones

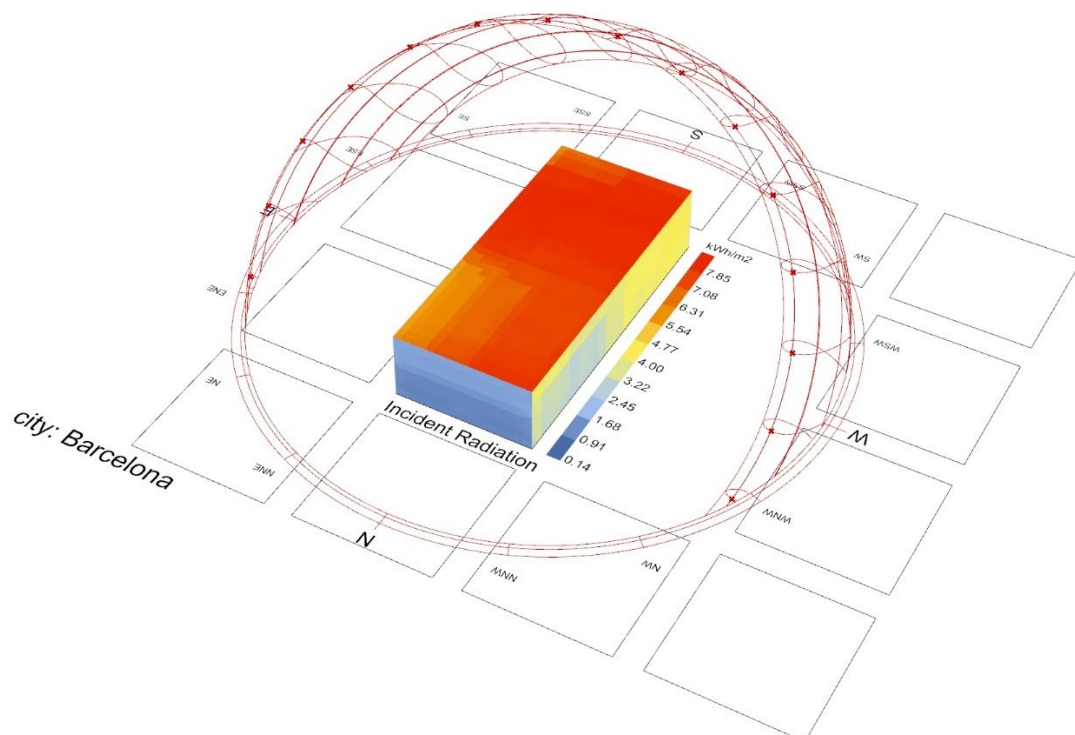


Fig. 1 Modelización de la radiación incidente sobre una volumetría. Fuente: Gonzalez Torrado, C (2024)

1. Evolución de los Entornos Virtuales de Aprendizaje (EVA)

Con el fin de comprender el posible impacto de los Entornos Virtuales de Aprendizaje —EVA— en la educación de futuros arquitectos, es necesario primero comprender qué son y cómo se han desarrollado y aplicado en nuestros centros de enseñanza. Se procede a continuación a una posible definición de los EVA:

“Plataforma digital que facilita el proceso educativo a través de la implementación de interacciones en línea entre sus participantes. Estos entornos no solo intentan reproducir la estructura de un aula tradicional, sino que también ofrecen a estudiantes y docentes los medios digitales necesarios para una educación flexible, dinámica y personalizada. Esto implica, por tanto, un mejor acceso al contenido docente en línea, la colaboración e interacción entre sus participantes, así como la oportunidad para un aprendizaje colectivo y de evaluación continuada.”

A pesar del uso periférico de las aplicaciones de EVA en la educación del arquitecto, es posible derivar tendencias generales y aplicarlas desde la literatura estudiada sobre investigaciones en otros campos. Un buen ejemplo es el caso del “Proyecto Ponte dos Brozos” desarrollado entre 2002-2010 en Arteixo, Galicia. Este tenía como objetivo modernizar el sistema educativo local a través de la implantación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación —TIC— en las aulas.

De los múltiples éxitos que cosechó el proyecto, es pertinente destacar dos factores clave extrapolables al resto de sistemas educativos. Por un lado, se propició un cambio en el rol del docente, pues pasa de ser un transmisor de conocimientos a un facilitador del aprendizaje fomentando el trabajo y el aprendizaje colaborativo. Además, el sistema fomentaba el espíritu crítico del alumno a la vez que permitía una evaluación continuada y no por etapas — exámenes—. Por otro lado, la incorporación de los EVA en el proyecto “Ponte dos Brozos” no solo supuso la introducción de nuevas tecnologías, sino también un cambio profundo en las prácticas pedagógicas y la configuración de los espacios educativos, que huyeron de aulas tecnológicamente especializadas para incorporar los EVA en cotidianidad de la vida y los espacios del estudiante como modelo eficaz y sostenible en el tiempo.

La incorporación de los entornos virtuales al sistema educativo se exacerbó con la llegada del COVID-19, pues durante la pandemia los EVA resultaron esenciales para la continuidad de la educación, ofreciendo la flexibilidad necesaria para que estudiantes y docentes pudiesen continuar con sus actividades académicas sin coincidir necesariamente en tiempo y lugar.

La crisis sanitaria aceleró la innovación tecnológica y pedagógica, transfiriendo un mayor peso de la enseñanza en el propio estudiante que adquiriría una mayor autonomía. Este cambio hacia un modelo más flexible y adaptado al estudiante ofrece un sistema educativo más accesible y sostenible, con una tecnología que evoluciona hacia los campus virtuales, las reuniones telemáticas o la gestión de datos en la nube. Se podría decir que, si la primera década del s. XXI los EVA introduce equipos digitales físicos, en la segunda década se incorporan entornos plenamente virtuales de encuentro, gestión de datos e incluso operacionales (Maldonado-Mangui, Peñaherrera-Acurio, & Espinoza-Beltrán, 2020).

Atendiendo a la evolución presentada de los EVA, especialmente en la formación del arquitecto, hoy día disponemos de la tecnología necesaria para ir un paso más allá: El gemelo digital.

2. Gemelo Digital

2.1 Definición

El concepto de Gemelo Digital —de ahora en adelante DT (DigitalTwin)— de un sistema físico apareció por primera vez en el 2000 y se generalizó una década más tarde. Ahora, en la segunda década del s. XXI, el DT se posiciona como la tecnología con mayor potencial en cuanto al cambio de modelo de producción de objetos físicos y procesos (Fuller, Fan, & Day, 2019).

Como se ha introducido en unas líneas anteriores, el DT es una suerte de EVA que proporciona una representación digital en tiempo real de un objeto, proceso o sistema del mundo real, a la vez que permite gestionar e incorporar información de alta complejidad como recurso operativo. Esta información, que proviene de bases de datos como estaciones meteorológicas, estudios de geotecnia, información GIS o desde receptores de monitorización instalados en el gemelo físico, permite a los estudiantes abordar problemas complejos de una manera más intuitiva e inmersiva y, sobre todo, desarrollar el pensamiento crítico con en el manejo de datos como instrumentos útiles para la definición arquitectónica.

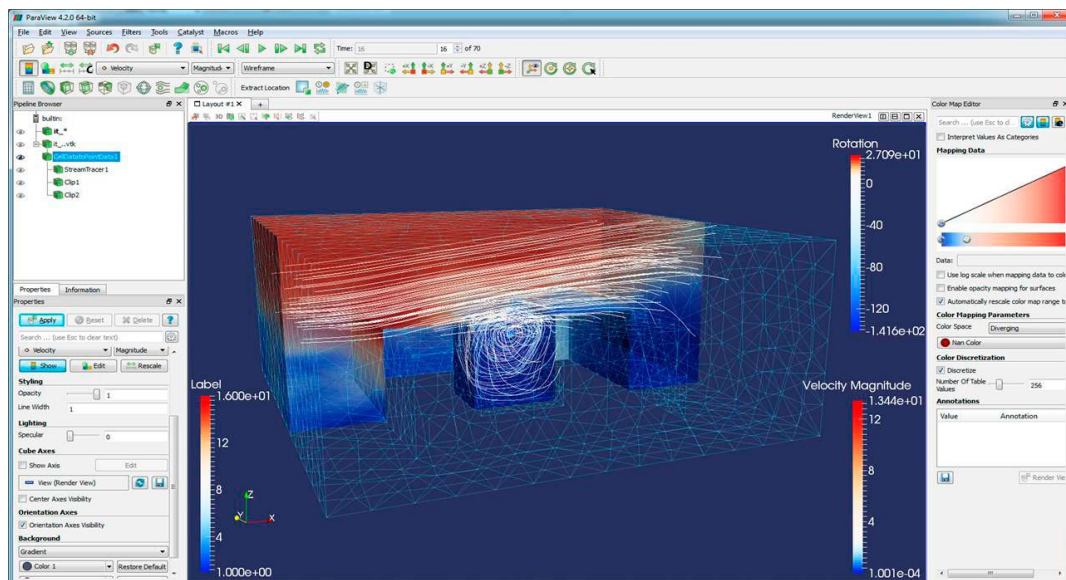


Fig. 2 Simulaciones computerizadas originales de patios realizadas con código abierto mediante Freefem++ visualizados mediante el visor de resultados ParaView en Termodinámica del patio mediterráneo: cuantificación y aplicación al diseño de arquitecturas eco-eficientes. Fuente: Rojas Fernández, J.M (2018)

Atendiendo, pues, a la naturaleza del DT y una vez revisada la literatura al respecto, resulta difícil encontrar un consenso para su definición, y esto se debe a la falta de investigación al respecto por su novedad en la materia. Esta condición queda reflejada en el artículo de Zhang et al. (2020) en el que recopila en una tabla hasta 6 definiciones diferentes o, por otro lado, Fuller, Fan y Day (2019) que segmenta los puntos clave de la definición de los DT en tres etapas. La primera la formula Grieves y Vickers (2011):

“El gemelo digital es un conjunto de construcciones de información virtual que describe completamente un producto físico fabricado, potencial o real, desde el nivel micro atómico hasta el nivel macro geométrico”.

Posteriormente, Glaessgen y Stargel (2012) proponen la siguiente definición —también recogida por Zhang— vinculada a la industria automovilística:

“una simulación probabilística, multiescala y multifísica integrada de un vehículo o sistema construido que utiliza los mejores modelos estructurales disponibles, actualizaciones de sensores, historial de flota, etc., para reflejar la vida”

Más recientemente, Liu, Meyendorf y Mrad (2018) afirman:

“el gemelo digital es en realidad un modelo vivo del activo o sistema físico, que se adapta continuamente a los cambios operativos basándose en la información y los datos recopilados en línea, y puede pronosticar el futuro de la contraparte física correspondiente”.

En definitiva, todas las entradas definen al DT como el conjunto de datos, estáticos y dinámicos¹, capaces de describir un sistema y su evolución en el tiempo. El factor clave para relacionar el DT con la formación y profesión del arquitecto pasa por entender que el conjunto de datos que se incorporan al modelo pueden ser de un estado real —construido—, pero también puede estar relacionado con un estado hipotético o potencial, es decir, utilizar el modelo del DT no como resultado final sobre el cual hacer comprobaciones y mejoras del gemelo físico, sino como maqueta de trabajo que permita al estudiante/arquitecto iterar en el proceso de diseño diferentes formulaciones —probabilística— para encontrar aquellas estrategias y soluciones que mejor se adapten a los objetivos planteados —pronóstico—. La ventaja del proceso referido es la naturaliza inductiva de la herramienta, pues se alinea con el modo de trabajo del arquitecto. De este modo, el DT permite avanzar en el proceso del proyecto por sucesivas pasadas que, a cada vuelta, sedimenta parte de la forma final sin ser esta el objetivo principal, sino la consecuencia del proceso.

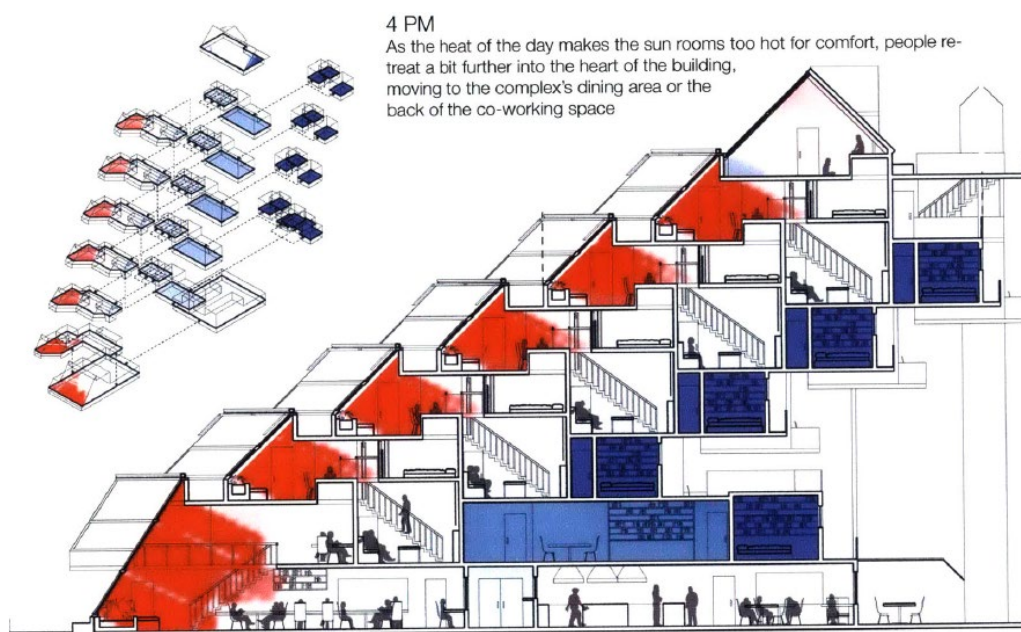


Fig. 3 Simulaciones de radiación solar sobre los espacios resultantes. La información proporcionada por el gemelo digital permite predecir el comportamiento del usuario e iterar la geometría y espacio del proyecto hasta encontrar la solución más eficaz según datos cuantitativos. Fuente: Mackey, C (2017)

¹ Los datos estáticos son aquellos que permanecen invariables durante la vida útil del edificio, como la estructura del edificio o los elementos constructivos, las redes de energía o fluidos... Por otro lado, los datos dinámicos o temporales son aquellos que varían en el tiempo, como la temperatura, la ocupación, la luminosidad, concentración de CO2...

2.2 Método y objetivos

Una vez repasada la definición del DT, y su posible implicación con el aprendizaje de la arquitectura, se procede, a continuación, a definir un posible método que incorpore este EVA al proceso natural del proyecto arquitectónico. Es pertinente apuntar que el uso del DT se puede aplicar de forma general a la arquitectura, pero que en la presente comunicación se pondrá especial énfasis en la introducción de los aspectos ambientales, pues este enfoque es particularmente eficaz para abordar el desafío que enfrenta actualmente la sociedad en general y la arquitectura en particular.

Para desarrollar un posible método, es pertinente recurrir a la clasificación de Zhang et al. (2021) en cuanto a las fases de modelización de un DT para la industria de la construcción:

1. Planificación y diseño
2. Diseño digital
3. Simulación digital
4. Fabricación y operación
5. Gestión del mantenimiento

Ahora bien, dentro de estas fases, algunas tareas son responsabilidad del arquitecto, mientras que otras son asignadas a ingenieros o constructoras, aunque siempre deben coordinarse con el arquitecto. En este contexto, el campo de acción del arquitecto se puede visualizar como una pirámide dividida en la que, de forma particular, el arquitecto desempeña una función crucial en los dos primeros segmentos.

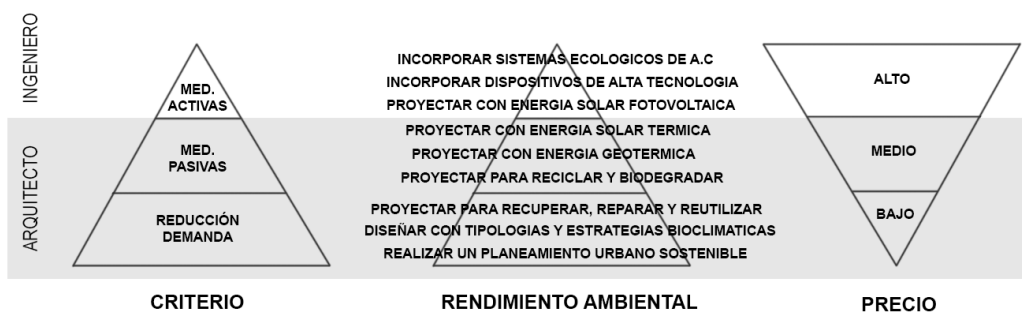


Fig. 4 Pirámide etapas de la industria de la construcción (izquierda) cruzada con la pirámide invertida propuesta por Luis de Garrido (centro) y coste de oportunidad (derecha). Fuente: González Torrado, C (2024)

La analogía de la pirámide revela la importancia del arquitecto en el proceso de construcción, pues es en la fase embrionaria, en la toma de decisiones —planificación y diseño, diseño digital y simulación digital—, donde podemos incidir sustancialmente en la naturaleza y comportamiento final del objeto construido. Practicando un paralelismo con el DT, la importancia no recae, únicamente, en monitorizar, controlar y optimizar las construcciones existentes, que también es parte fundamental, sino en usar el DT como modelo reactivo que permita maximizar la reducción de la demanda en fases estratégicas y aplicar objetiva y eficazmente las medidas pasivas en la fase de conceptualización del proyecto. Además, de manera paradójica, en las fases donde interviene el arquitecto, el coste de aplicación es significativamente menor en comparación con las decisiones relacionadas con las medidas activas. Esto no solo incorpora una perspectiva ambiental al proceso, sino que también permite una optimización económica y material.

De este modo, se puede reconfigurar la clasificación anterior en:

Tabla 1. Correspondencia entre el proceso de proyecto y las fases del Gemelo Digital

PROCESO DE PROYECTO	FASE DEL DT
DISEÑO Reducción de la demanda Estrategias pasivas Estrategias activas	1. Planificación y diseño 2. Diseño digital 3. Simulación digital
CONSTRUCCIÓN/OPERACIÓN	4. Fabricación y operación
MANTENIMIENTO	5. Gestión del mantenimiento

Fuente: González Torrado, C (2024)

Si ahora se realiza un último cruce con el concepto de “Modelo de madurez del Gemelo Digital” de Wang, Ashour, Mahdiyar y Sabri (2024), se identifican múltiples categorías de desarrollo entre las cuales destacamos las de *Autodesk (2022)* y *Seaton et al. (2022)* por su cercanía con la arquitectura y la construcción.

Table 1. Digital twin maturity model in the literature.

Domain	Reference	Levels	Name of the Levels
General	[38]	0~4	Digital model, Digital shadow, Digital twin, Cognitive DT, Federated DT
	[39]	1~5	Digital model, Digital twin, Adaptive digital twin, Technical and functional DT, Autonomous DT
Manufacturing	[36]	1~6	Basic, Connection, Integration, Perception, Interaction, Autonomy
	[37]	1~3	Digital model, Digital shadow, Digital twin
Systems engineering	[16]	1~4	Pre-digital twin, Digital Twin, Adaptive Digital Twin, Intelligent Digital Twin
Aerospace	[40]	1~4	Monitoring, Diagnostic, Prediction, Prescription
Construction	[41]	1~5	Linked, Feedback and Control, Predictive and Analytic, Learning and Autonomous
	[44]	1~5	Supervisory, Operational, Simulation, Intelligent, Autonomous management
	[2]	1~3	Monitoring Platform, Intelligent Semantic Platform, Agent-driven socio-technical platform
	[45]	1~5	Descriptive twin, Informative twin, Predictive twin, Comprehensive twin, Autonomous twin
	[21]	1~5	Descriptive twin, Informative twin, Predictive twin, Comprehensive twin, Autonomous twin
	[42]	1~6	Unaware, Identifiable, Aware, Communicative, Interactive, Instructive and Intelligent
	[43]	0~4	BIM, Digital twin, enhanced DT, Metaverse

Fig. 4 Madurez del Gemelo Digital en la literatura. Fuente: Wang, Ashour, Mahdiyar y Sabri (2024)

La comparación y el análisis de las diferentes definiciones propuestas por la literatura sobre el DT resultan en una nueva tabla que combina las fases del proceso del proyecto, del gemelo digital y de su nivel de madurez. De este modo, se desarrolla un método específico que vincula

el proceso de diseño del estudiante con modelos digitales. Estos modelos no solo acompañan el proceso de diseño desde una perspectiva tecnológica, sino que también se alinean con el grado de experiencia del estudiante, evolucionando en paralelo a lo largo de su formación.

Tabla 2. Correspondencia entre el proceso de proyecto, las fases del Gemelo Digital y su madurez

PROCESO DE PROYECTO	FASE DEL DT	MADUREZ DEL DT
DISEÑO Reducción de la demanda Estrategias pasivas Estrategias activas	1. Planificación y diseño	Gemelo descriptivo
	2. Diseño digital	Gemelo informativo
	3. Simulación digital	Gemelo predictivo
CONSTRUCCIÓN/OPERACIÓN	4. Fabricación y operación	Gemelo integral
MANTENIMIENTO	5. Gestión del mantenimiento	Gemelo autónomo

Fuente: González Torrado, C (2024)

Se procede a continuación a explicar cada nivel del método resultante:

Gemelo descriptivo (Nivel 1): Representa un modelo digital conectado con el mundo real, pero sin inteligencia, aprendizaje y autonomía.

El gemelo descriptivo recopila la información necesaria para una completa comprensión de la realidad física y la problemática social que se debe resolver con la arquitectura. El alumno usa *BIM* y *Software* avanzado de modelado 3D —como *Rhinoceros*—, complementado con *Plugins* para la parametrización y cálculo de datos complejos en materia ambiental —como *Grasshopper* + *LadyBug/Honeybee/Butterfly*—. El objetivo de esta primera fase es la recreación exhaustiva del entorno donde se ubica el proyecto en cuanto a su realidad física y geométrica, pero también en cuanto a datos climáticos, geotécnicos, demográficos, sociales... A continuación, se detallan las fuentes y herramientas de mayor relevancia a las que el alumnado puede recurrir para incorporar dicha información al DT. N1²

GIS

Datos Geográficos o Espaciales: Coordenadas geográficas; Altitud y relieve; Límites geográficos; Redes de transporte

Datos Temáticos: Uso del suelo y cobertura del suelo; Zonificación; Distribución de recursos naturales

Datos Socioeconómicos: Demografía; Infraestructura; Estadísticas de vivienda

Datos Ambientales: Calidad del aire y del agua; Vegetación y biodiversidad; Riesgos naturales; Cambio climático

Datos de Infraestructura y Servicios: Redes de energía; Sistemas de agua y saneamiento; Telecomunicaciones

Datos Históricos y de Tendencias: Cambios en el uso del suelo; Patrones de urbanización; Tendencias climáticas

Datos de Análisis Espacial: Proximidad y accesibilidad; Modelado de terrenos; Análisis de visibilidad

Datos Relacionados con la Salud Pública: Distribución de enfermedades; Acceso a servicios de salud

LADYBUG

Datos Climáticos: Radiación solar; T del aire; Humedad relativa; Velocidad y dirección del viento; Precipitación

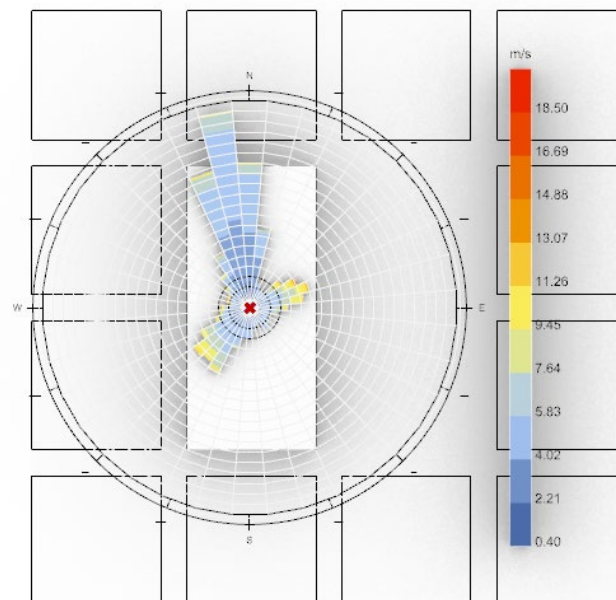
Datos de Visualización: Gráficos climáticos

² DT: Gemelo Digital. N1: Nivel 1. De ahora en adelante se usará esta nomenclatura para el resto de los niveles.

El compendio de datos generados a través del listado, más un conocimiento profundo del usuario al que se debe dar respuesta, y todos aquellos aspectos que el alumno/proyectista considere oportunos y relevantes, conforma los condicionantes externos e internos del proyecto a los que la arquitectura debe dar respuesta para potenciarlos o neutralizarlos en favor de una determinada manera de habitar los espacios. Es oportuno aclarar que el listado aquí presentado, y los posteriores, no pretende ser una “fórmula mágica” a partir de la cual hacer arquitectura, sino más bien una guía que, al dar respuesta, permita fomentar el espíritu crítico del que proyecta para enriquecer el proceso de diseño, a la vez que incorpora los aspectos ambientales desde la raíz.



Fig. 5 Diagrama GIS del proyecto para Issoudun (Francia). Fuente: Ramos Carranza, A, et al. (2020)



Wind Speed (m/s)
city: Barcelona-El Prat, AP
country: ESP
time-zone: 1.0
source: SRC-TMYx
period: 1/1 to 12/31 between 0 and 23 @1
Calm for 4.87% of the time = 427 hours.
Each closed polyline shows frequency of 0.6% = 50 hours.

Fig. 6 Rosa de los vientos. Fuente: Gonzalez Torrado, C (2024)

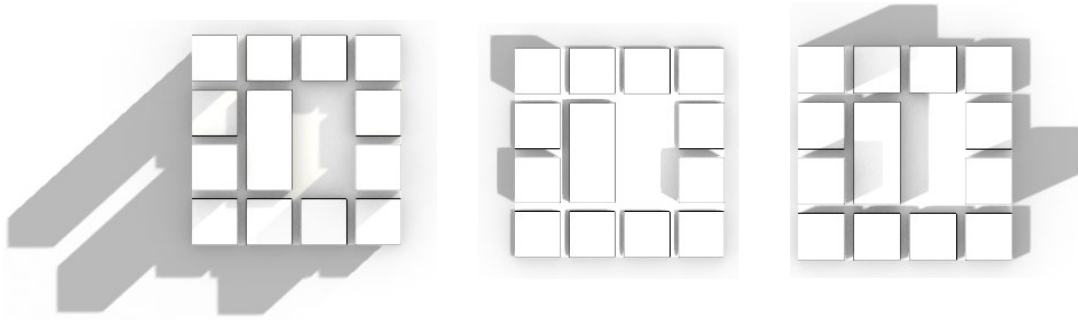


Fig. 7 Sombras arrojadas el 21 de junio a las 7:00 (izquierda); 12:00 (centro); 17:00 (derecha). Fuente: Gonzalez Torrado, C (2024)

Gemelo informativo (Nivel 2): Convierte datos en información operativa y visual.

El gemelo informativo utiliza los datos “genéricos” previamente incorporados al modelo para proporcionar, de manera gráfica, resultados específicos que apoyan el proceso de diseño cuantitativamente. En esta fase, además del modelado digital del entorno, se desarrollan prototipos digitales simplificados que se utilizan como base para diversos análisis. Este segundo nivel es particularmente adecuado para ensayos volumétricos, que permiten evaluar la masa, o el impacto visual de las edificaciones; ensayos tipológicos, que exploran diferentes configuraciones y tipos de espacios para adecuarse mejor a las necesidades del proyecto en favor de su flexibilidad; y ensayos de implantación, que analizan cómo se ubica y orienta el edificio en el sitio, teniendo en cuenta factores como la topografía, la orientación solar y la integración con el entorno existente. Estos ensayos proporcionan una visión detallada y fundamentada de cómo las decisiones de diseño afectan el resultado final, facilitando ajustes precisos antes de avanzar a fases más detalladas del proyecto. A continuación, se detallan los posibles procesos analíticos según la tecnología utilizada en el DT. N2.

LADYBUG

Datos Climáticos: Horas de luz solar directa

Datos de Visualización: Mapas de radiación solar sobre superficies arquitectónicas

HONEYBEE

Datos de Energía y Edificación: Simulaciones de carga térmica; Consumo energético en edificios; Rendimiento de sistemas HVAC; Transferencia de calor a través de cerramientos

Datos de Confort: Análisis de iluminación natural; Condiciones acústicas

BUTTERFLY

Datos de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD): Distribución de presión en torno a edificaciones; Velocidades y patrones de flujo de aire alrededor de edificios; Análisis de ventilación natural; Comportamiento del viento en espacios exteriores e interiores

La cuantificación gráfico numérica del DT. N2 permite valorar el impacto de los condicionantes detectados en el DT. N1. Así, el alumno/proyectista puede establecer objetivos que incorporen dichos condicionantes para neutralizarlos o aprovecharlos.

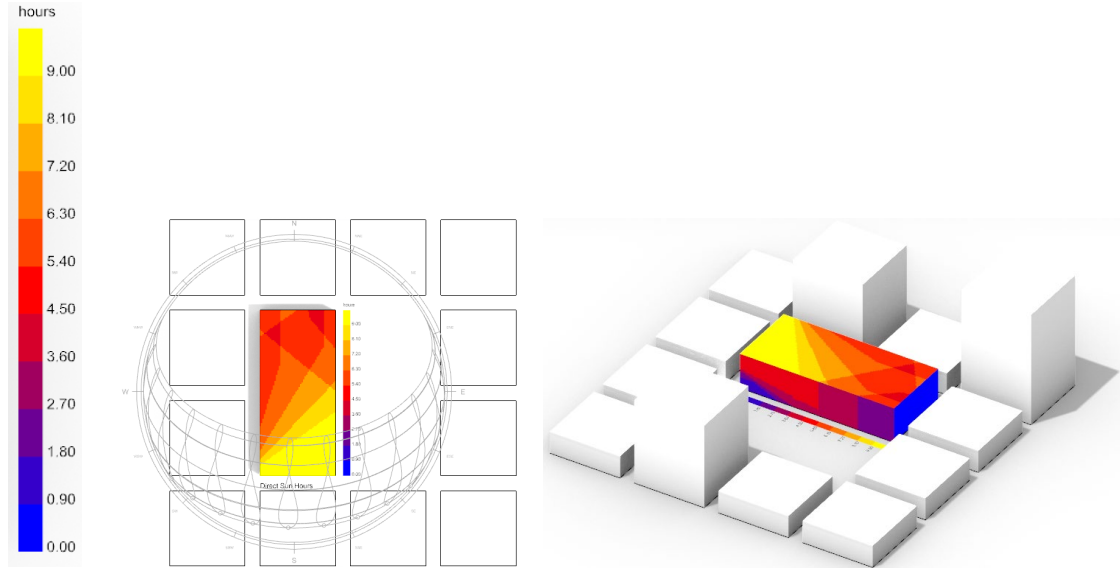


Fig. 8 Cuantificación de horas de luz en las superficies del volumen propuesto. Fuente: Gonzalez Torrado, C (2024)

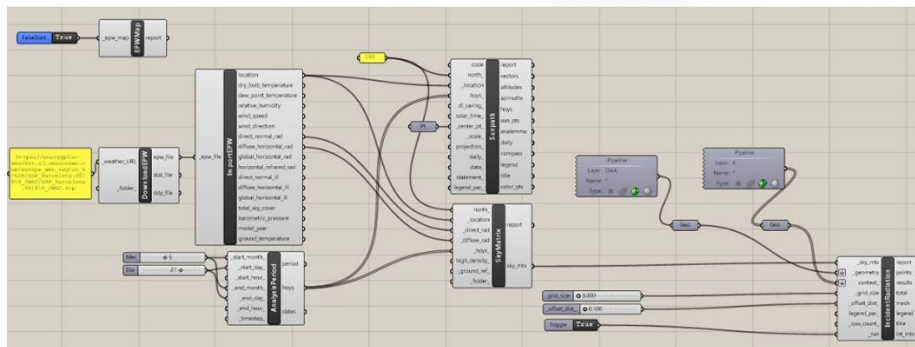
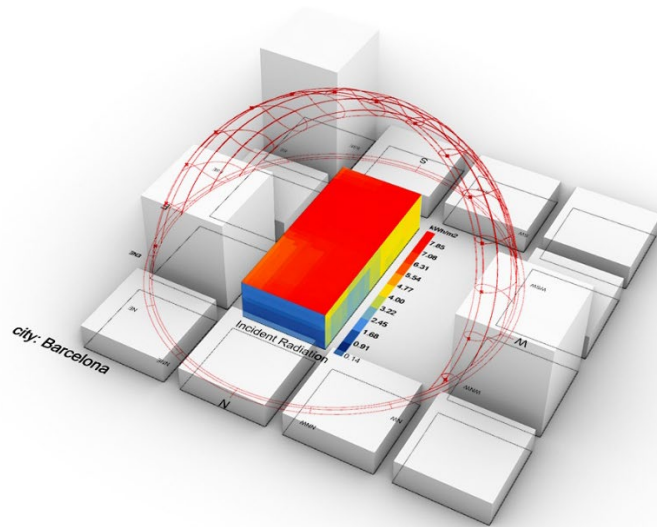


Fig. 9 Cuantificación de la radiación solar sobre las envolventes verticales y horizontales del volumen propuesto. Fuente: Gonzalez Torrado, C (2024)

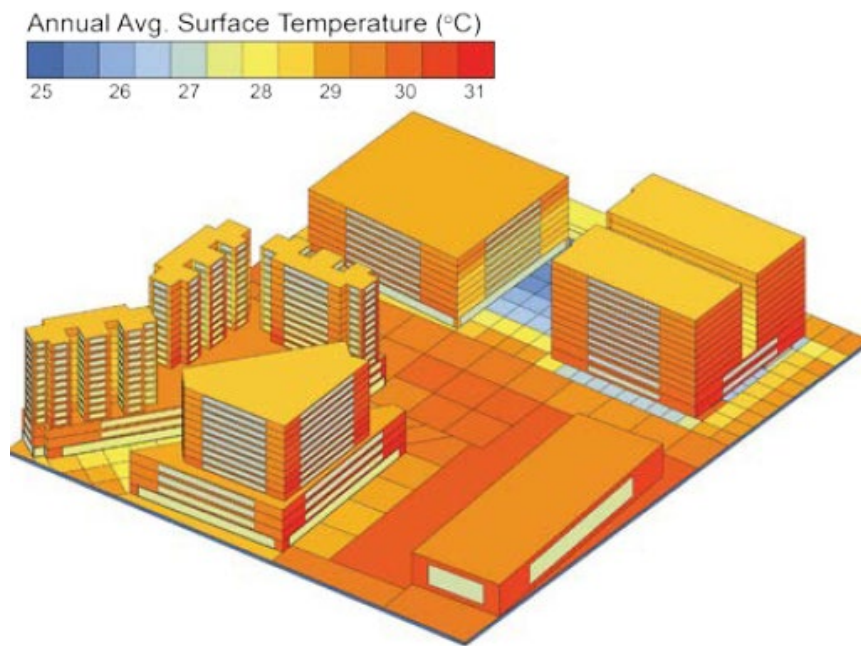


Fig. 10 Cuantificación de la temperatura acumulada en el periodo de un año en las envolventes verticales, horizontales y espacio público. Fuente: Mackey, C. et al. (2017)

Gemelo predictivo (Nivel 3): Predice situaciones mediante el uso operativo de la información recopilada en el nivel anterior. Este nivel de madurez representa un avance significativo, ya que permite generar hipótesis sobre aspectos específicos como la sensación térmica, la dinámica de fluidos, las horas de luz y el grado de iluminación.

El gemelo predictivo es fundamental para definir estrategias en el proceso de diseño. Basándose en la cuantificación realizada sobre el prototipo digital, el DT. N3 permite predecir estados de confort del usuario y evaluar el comportamiento de la edificación en relación con su entorno, considerando factores como la exposición solar, las sombras, la distribución de vientos y las visuales. A pesar de estar en una fase conceptual, este nivel facilita la iteración de posibles soluciones sin comprometerse todavía con una formalización final.

Debido a su función como banco de pruebas para las soluciones finales, este nivel y el siguiente comparten bases de datos y herramientas, pues la función del DT. N4 es cristalizar los diferentes ensayos realizados en este nivel. De este modo, se detallan las herramientas y fuentes de datos utilizadas junto al siguiente apartado

Gemelo integral (Nivel 4): Analiza simultáneamente las fases anteriores con la capacidad de simular en tiempo real hipótesis complejas, las cuales pueden ser potenciadas mediante inteligencia artificial para optimizar procesos o diseños. Aunque esta fase tiende cada vez más hacia la automatización, también puede llevarse a cabo manualmente mediante la manipulación sucesiva del DT. N3, un método más accesible en el ámbito docente, ya que no requiere una capacitación avanzada en programación.

El gemelo integral es el último nivel que atiende completamente a la fase de diseño. Basándose en las comprobaciones realizadas en la fase anterior, se establecen las soluciones finales tanto materiales como espaciales. Este nivel permite cuantificar aspectos clave como el impacto ambiental, el grado de sostenibilidad y resiliencia del proyecto, además de simular con precisión los consumos energéticos del edificio.

A continuación, se presentan los posibles procesos analíticos basados en la tecnología utilizada en los DT. N3 y N4.

LADYBUG

Datos Climáticos: Análisis de confort térmico

Datos de Energía: Consumo energético basado en datos climáticos; Potencial de generación de energía solar

HONEYBEE

Datos de Energía y Edificación: Simulaciones de carga térmica; Consumo energético en edificios; Rendimiento de sistemas HVAC; Transferencia de calor a través de cerramientos

Datos de Confort: Evaluación del confort térmico interior; Niveles de iluminación artificial y natural

Datos de Sostenibilidad: Evaluaciones de la eficiencia energética de los edificios; Análisis de la huella de carbono de un edificio

BUTTERFLY

Datos de Confort Ambiental: Análisis de ventilación y enfriamiento pasivo; Distribución de contaminantes en el aire (aire interior y exterior)

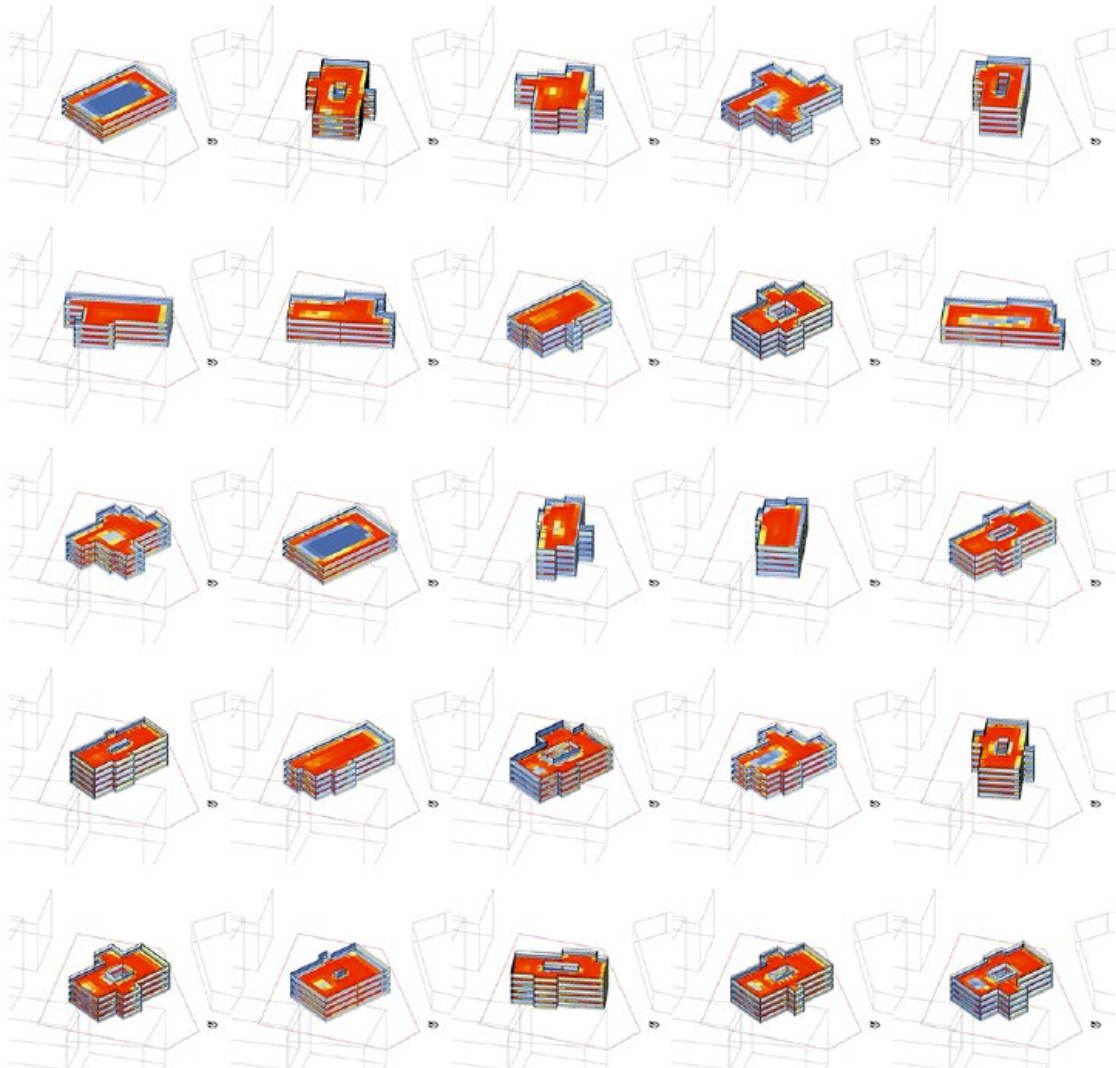
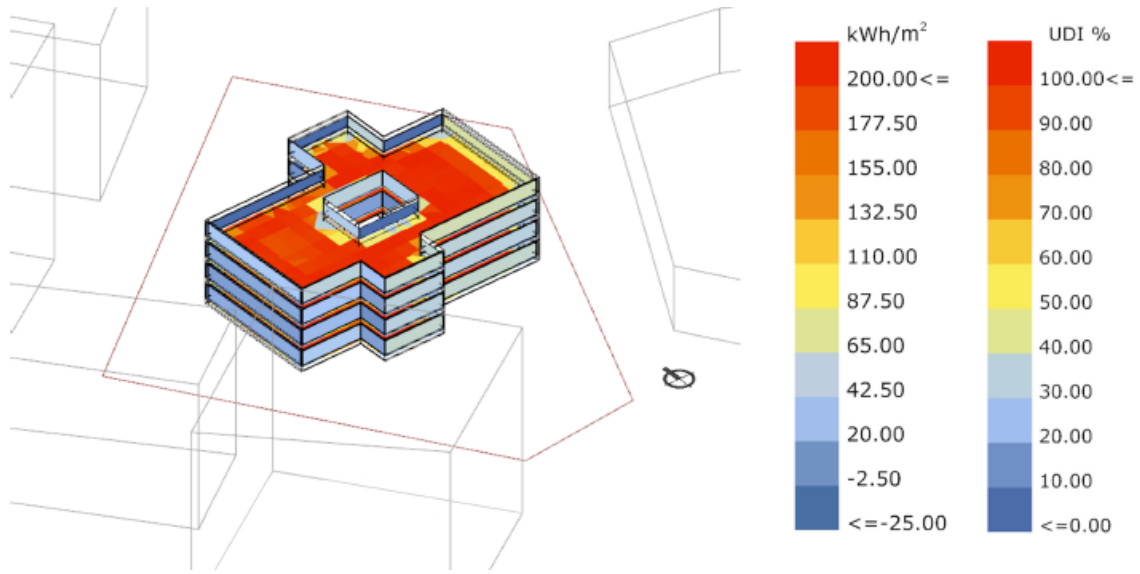


Fig. 11 Iteración de prototipos para la optimización del volumen en relación con la incidencia solar por metro cuadrado y las ganancias internas. Fuente: Mackey, C. et al. (2017)

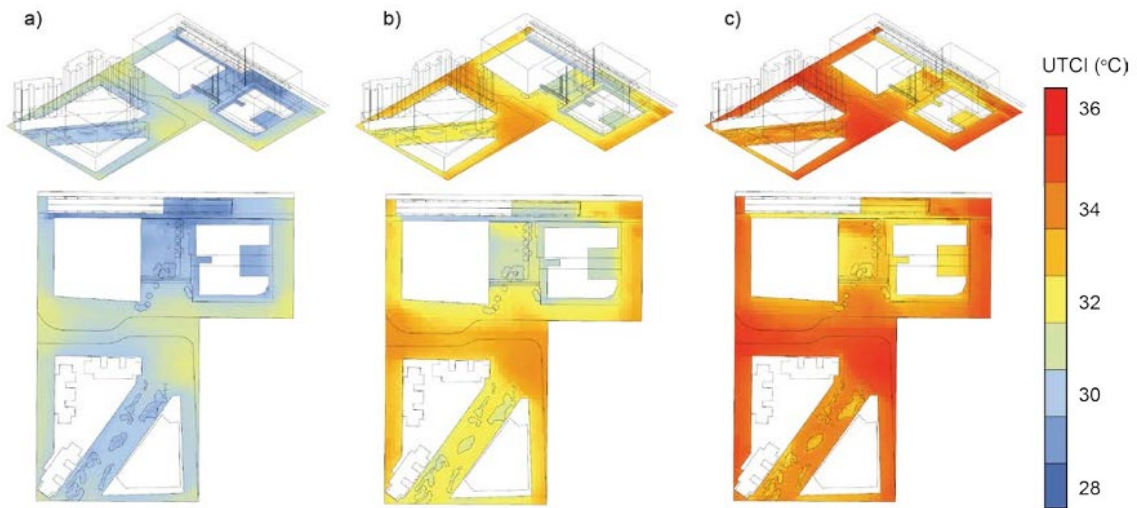


Figure 6: Maps of Average UTCI over the Singapore Cold Week (a), Typical Week (b), and Hot Week (c).

Fig. 12 Cálculo del confort exterior a través de la temperatura de sensación del usuario en semanas típicas de frío, calor y neutro de verano en Singapur. Fuente: Mackey, C. et al. (2017)

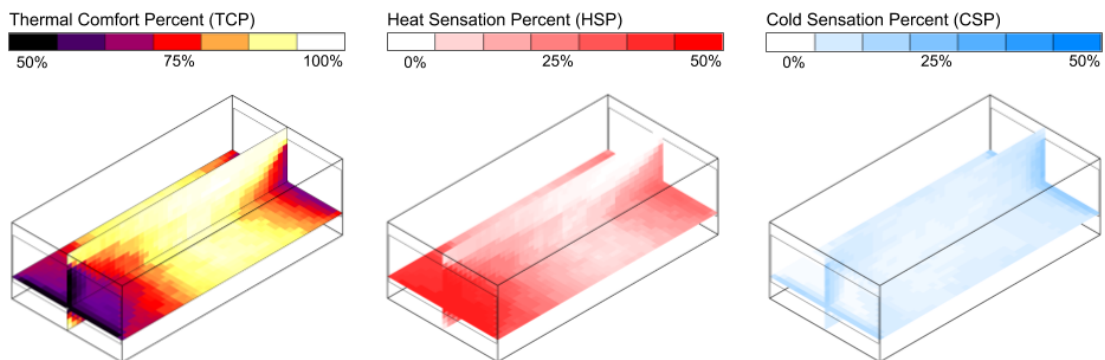


Fig. 13 Métricas de confort térmico interior. Fuente: Mackey, C. (2017)

Gemelo autónomo (Nivel 5): Controla el comportamiento del gemelo digital vinculado a su gemelo físico mediante análisis en tiempo real y toma de decisiones automatizadas, lo que minimiza el error humano. En esta fase, la inteligencia artificial juega un papel fundamental.

En este último nivel, con el gemelo físico ya construido, el gemelo digital asume el control para sincronizar y monitorizar el comportamiento del edificio en ambos entornos, real y virtual. Comparando en tiempo real los datos obtenidos de los dispositivos de monitorización con el comportamiento predicho por el DT, este implementa medidas correctivas para optimizar el funcionamiento del edificio durante su fase de uso.

Para que este proceso sea efectivo, es crucial que los niveles anteriores hayan sido correctamente ejecutados y optimizados. Al pasar del Nivel 4 al Nivel 5, con la construcción ya completada, la optimización se restringe a los procesos y al mantenimiento y no al diseño. Por lo tanto, los Niveles 1 a 4 son esenciales en el desarrollo del proyecto, mientras que el Nivel 5 se encarga del seguimiento, control y certificación de que lo ensayado y calculado en las etapas previas se haga efectivo en el mundo real. Si esto no ocurre, se aplicarán las medidas correctoras necesarias en los niveles inferiores, permitiendo al alumno o proyectista acumular un "know-how" constante, que puede incorporar para perfeccionar los procesos previamente establecidos.

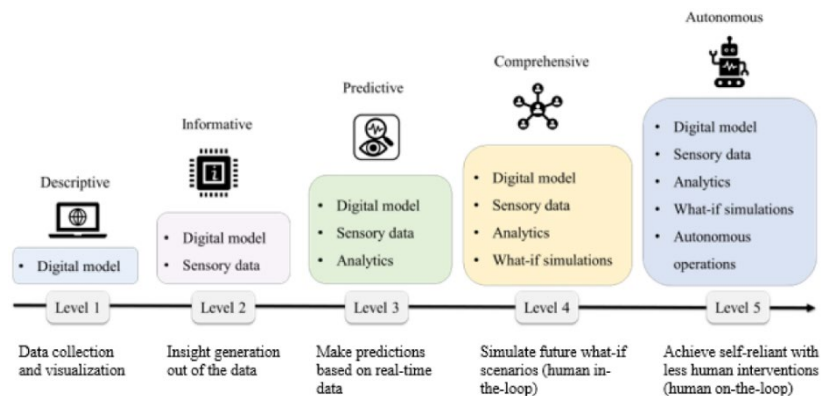


Fig. 14 Resumen del grado de madurez del Gemelo Digital. Fuente: Wang, Ashour, Mahdiyar y Sabri (2024)

3. El gemelo digital en el plan de estudios de arquitectura

A lo largo de este comunicado, se han definido los Entornos Virtuales de Aprendizaje (EVA) y se ha profundizado en el gemelo digital como el entorno de referencia ideal para la formación de arquitectos. Además, se ha propuesto un método y se han identificado herramientas para integrar su uso en el proceso de desarrollo de proyectos. En este contexto, un análisis comparativo de diversos textos sobre los gemelos digitales ha revelado una estructura adecuada que podría servir como modelo para un plan de estudios. Este modelo no solo incluiría los EVA, sino también los aspectos ambientales, incorporándolos desde los primeros hasta los últimos cursos con el objetivo de reducir la demanda energética y aplicar estrategias pasivas y activas en los proyectos. La clasificación propuesta es la siguiente:

1. Condicionantes internos/externos
2. Objetivos
3. Estrategias
4. Soluciones

Las fases propuestas siguen un orden de complejidad creciente y son de carácter retroactivo. Esto significa que avanzar de una fase a la siguiente no implica haber completado el trabajo, sino que cada fase sirve de base para la siguiente etapa. Estas etapas comienzan con tareas descriptivas y taxonómicas y culminan en niveles de definición formal, material y espacial. Esta estructura está alineada con las diferentes fases de maduración del gemelo digital y, podría decirse, también del estudiante.

Así, al reunir los resultados obtenidos, se concluye con la siguiente estructura de plan de estudios:

PLAN DE ESTUDIOS DEL GRADO EN ESTUDIOS DE ARQUITECTURA

SEMESTRE 1			SEMESTRE 2			CURSO	FASE DT	
Asignatura	horas /sem	ECTS	Asignatura	horas /sem	ECTS			
1	Dibujo I	5	6	Dibujo II	5	6	Materias básicas en la arquitectura	Condicionantes DT_N1 Informativo
	Matemáticas I	5	6	Matemáticas II	5	6		
	Física I	5	6	Física II	5	6		
	Bases para el proyecto I	5	6	Bases para el proyecto II	5	6		
	Bases para la teoría	5	6	Bases para la técnica	5	6		
2	Proyectos I	6	7,5	Proyectos II	6	7,5	Forma, construcción y lugar	Objetivos DT_N2 Descriptivo
	Urbanística I	4	5	Urbanística II	4	5		
	Historia I	5	6	Construcción I	5	6		
	Acondicionamientos y servicios I	5	6	Estructuras I	5,5	7		
	Representación Arquitectónica I	4	5	Representación Arquitectónica II	4	5		
3	Proyectos III	6	7,5	Proyectos IV	6	7,5	Vivienda y entorno urbano	Estrategias DT_N3 Predictivo
	Urbanística III	4	5	Urbanística IV	4	5		
	Historia II	5,5	7	Construcción II	5	6		
	Estructuras II	5	6	Acondicionamientos y servicios II	5	6		
	Representación Arquitectónica III	4	5	Optativa	4	5		
4	Proyectos V	6	7,5	Proyectos VI	6	7,5	Dotaciones, equipamiento y espacio público	Soluciones DT_N4 Integral
	Urbanística V	4	5	Urbanística VI	4	5		
	Teoría I	5	6	Acondicionamientos y servicios III	5	6		
	Estructuras III	5	6	Construcción III	5,5	7		
	Optativa	4	5	Representación Arquitectónica IV	4	5		
5	Taller temático I	6	7,5	Taller temático II	6	7,5	Talleres temáticos	Proyecto integral
	Teoría II	4	5	Arquitectura Legal I Gestión	6	7,5		
	Construcción IV	6	7,5	Optativa de intensificación	9			
	Estructuras IV	4	5					
	Optativa	4	5					
*EN ROJO LAS ASIGNATURAS IMPLICADAS EN LA IMPLANTACIÓN DEL MÉTODO			Trabajo Final de Grado			6		
300 ECTS								

PLAN DE ESTUDIOS DEL MÁSTER UNIVERSITARIO EN ARQUITECTURA

6	Teoría y proyectos de edificación y urbanismo	12	PFC + Investigación	Proyecto de investigación
	Sistemas tecnológicos y estructurales en la edificación	08		
	Intensificación e investigación en arquitectura	10		
	Proyecto Final de Carrera (Trabajo Final de Máster)	30		
60 ECTS				

Fig. 15 Propuesta de plan de estudios. Fuente: Gonzalez Torrado, C (2024)

4. Conclusiones

Llegados a este punto, se puede concluir que el uso del DT en la formación arquitectónica destaca varios puntos clave. En primer lugar, la implementación de esta tecnología no solo representa un avance técnico, sino también un cambio pedagógico significativo, pues el DT permite a los estudiantes interactuar con un modelo virtual que sirve a modo de laboratorio de ensayo de un proyecto arquitectónico real. Esto fomenta un aprendizaje más práctico, inmersivo y crítico.

En segundo lugar, la incorporación de los EVA y DT en la educación arquitectónica puede mejorar la comprensión de los aspectos ambientales y su integración en el proceso del proyecto. A través de una metodología que abarca desde la reducción de la demanda energética hasta la implementación de estrategias pasivas y activas, los estudiantes pueden aprender a optimizar el uso de recursos y a minimizar el impacto ambiental desde las primeras etapas del proyecto.

Finalmente, para que estas tecnologías impacten en la educación del arquitecto, es esencial que los planes de estudios se adapten adecuadamente, integrando de manera coherente los niveles de madurez del DT con el desarrollo de competencias técnicas y críticas de los estudiantes. Esto garantizará que los futuros arquitectos no solo sean competentes en el uso de nuevas tecnologías, sino que también tengan una comprensión profunda de los principios de sostenibilidad y eficiencia en el diseño arquitectónico, acompañados por docentes que no son transmisores de conocimiento sino facilitadores de aprendizaje.

Bibliografía

EVA

Badia, A., Bautista, G., Guasch, T., Sangrà, A., y Sigalés, C. 2004. «La integración escolar de las TIC: el Proyecto Ponte dos Brozos». *FUOC*, Sept 2004. <http://www.uoc.edu/dt/esp/badia0904.pdf>

Maldonado-Mangui, S. P., Peñaherrera-Acurio, W. P., y Espinoza-Beltrán, P. S. 2020. «Los Entornos Virtuales de Aprendizaje (EVA's), como recurso de aprendizaje en las clases asíncronas de las IES». *Dominio de las Ciencias*, 6(4), 1279-1291. <https://doi.org/10.23857/dc.v6i4.1306>

Gemelo Digital

Chevallier, Z., Finance, B., y Cohen Boulakia, B. 2020. «A Reference Architecture for Smart Building Digital Twin». En *SeDiT 2020 University of Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines*. https://www.researchgate.net/publication/340621918_A_Reference_Architecture_for_Smart_Building_Digital_Twin

Fuller, A., Fan, Z., y Day, C. 2019. «Digital Twin: Enabling Technology, Challenges, and Open Research». *IEEE Access*, vol. 8, pp. 108952-108971, 2020. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9103025>.

Grieves, M. 2011. *Virtually Perfect: Driving Innovative and Efficient Product Creation*. New York: Space Coast Press.

Glaessgen, E., y Stargel, D. 2012. «The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles». En *53rd Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference*, American Institute of Aeronautics and Astronautics. DOI:[10.2514/6.2012-1818](https://doi.org/10.2514/6.2012-1818)

Liu, Z., Meyendorf, N., y Mrad, N. 2018. «The Role of Data Fusion in Predictive Maintenance Using Digital Twin». En *44th Annual Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, Volume 37*. Springer. DOI:[10.1063/1.5031520](https://doi.org/10.1063/1.5031520)

Lu, Q., Parlidak, A. K., Woodall, P., Don Ranasinghe, G., y Heaton, J. 2019. «Developing a Dynamic Digital Twin at a Building Level Using Cambridge Campus as Case Study». *International Conference on Smart*

Infrastructure and Construction 2019 (ICSIC): Driving data-informed decision-making 36(3). DOI:[10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000763](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000763)

Wang, M., Ashour, M., Mahdiyar, A., y Sabri, S. 2024. «The Effectiveness of a Digital Twin Learning System in Assisting Engineering Education Courses: A Case of Landscape Architecture». *Applied Sciences*, 14(6484), 30. DOI:[10.3390/app14156484](https://doi.org/10.3390/app14156484)

Wang, M., Ashour, M., Mahdiyar, A., y Sabri, S. 2024. «Opportunities and Threats of Adopting Digital Twin in Construction Projects: A Review». *Buildings*, 14(2349). <https://doi.org/10.3390/buildings14082349>

Zhang, H., Zhou, Y., Zhu, H., Sumarac, D., y Cao, M. 2020. «Digital Twin-Driven Intelligent Construction: Features and Trends». *Structural Durability & Health Monitoring*, 15(3):183-206 15(3):183-206. DOI: [10.32604/sdhm.2021.018247](https://doi.org/10.32604/sdhm.2021.018247)

GIS y GRASHOPPER PLUGINS (LADYBUG, HONEYBEE, BUTTERFLY)

Barzegar Ganji, H., Utzinger, D. M., y Bradley, D. E. 2019. «Create and Validate Hybrid Ventilation Components in Simulation using Grasshopper and Python in Rhinoceros». En *16th IBPSA Conference*. IBPSA, 4345-4352. <https://doi.org/10.26868/25222708.2019.211292>

Konis, K., Gamas, A., y Kensek, K. 2016. «Passive performance and building form: An optimization framework for early-stage design support». *Solar Energy* 125(1): 161-179. DOI:[10.1016/j.solener.2015.12.020](https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.12.020)

Mackey, C., Galanos, T., Norford, L., y Sadeghipour Roudsari, M. 2017. «Wind, Sun, Surface Temperature, and Heat Island: Critical Variables for High-Resolution Outdoor Thermal Comfort». En *15th IBPSA Conference*. IBPSA, 985-993. <https://doi.org/10.26868/25222708.2017.260>

Ramos Carranza, A., y Añón Abajas, R. M. (Eds.). 2020. «Proyecto, Progreso, Arquitectura: Arquitectura e investigación aplicada». *Visiones heterogéneas* (Nº 22). Editorial Universidad de Sevilla. <https://dx.doi.org/10.12795/ppa>

Rojas Fernández, J. M. 2017. *Termodinámica del patio mediterráneo: Cuantificación y aplicación al diseño de arquitecturas eco-eficientes*. Tesis doctoral, Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla. https://issuu.com/hombredpiedra/docs/01_terminologia_del_patio_juan_man