

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 desplegados. *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-Alejandre, 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.

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^a; Alonso-Pedrero, Fernando^a; Morán-García, Pilar^b

^a Escuela Técnica Superior de Arquitectura Universidad de Navarra, psalazarl@unav.es, falonsop@unav.es; ^b Escuela de Arquitectura, Universidad Internacional de Cataluña, mdpmoran@uic.es

Abstract

This article presents an exercise carried out with first-year Architecture students focused on a complex geometric shape: minimal surfaces. It explains the development of the exercises, which combine mathematical and geometric knowledge with hands-on experimentation and the creative application of what has been studied. In this case, soap bubbles, created with a soapy solution, are used to gain an intuitive understanding of minimal surfaces. At the same time, it takes the opportunity to join the debate on the use of manual, digital, and three-dimensional graphic tools in the early education of an architecture student.

Keywords: *minimal surfaces, learning through experience, programming, polyhedral.*

Thematic areas: *educational research, graphic ideation, problem-based learning, ICT tools, experimental pedagogy.*

Resumen

Este artículo presenta un ejercicio que se ha realizado con alumnos del primer curso del grado en Arquitectura acerca de una forma geométrica compleja: las superficies mínimas. Explica el desarrollo de los ejercicios, en los que se combina el conocimiento matemático y geométrico con la experimentación manual y con la aplicación creativa de lo estudiado. En este caso, se utilizan para el conocimiento intuitivo de las superficies mínimas la creación de pompas de jabón gracias a una solución jabonosa. A la vez, aprovecha esta oportunidad para unirse al debate sobre el uso de las herramientas gráficas manuales, informáticas y tridimensionales en la educación inicial de un estudiante de arquitectura.

Palabras clave: *superficies mínimas, aprendizaje a través de la experiencia, programación, poliedros.*

Bloques temáticos: *investigación educativa, ideación gráfica, aprendizaje basado en problemas, herramientas TIC, pedagogía experimental.*

Resumen datos académicos

Titulación: Grado en Estudios de Arquitectura

Nivel/curso dentro de la titulación: 1º

Denominación oficial asignatura, experiencia docente, acción: Laboratorio de Geometría y Forma II

Departamento/s o área/s de conocimiento: Teoría, Proyectos y Urbanismo

Número profesorado: 3

Número estudiantes: 100

Número de cursos impartidos: 2

Página web o red social: sí

Publicaciones derivadas: no

1. Introducción

El estudio y la comprensión profunda de geometrías complejas no solo abre nuevas posibilidades estéticas y estructurales, sino que también permite desafiar y expandir los límites de lo arquitectónicamente posible. La incorporación de herramientas digitales ha sido fundamental en este ámbito, permitiéndonos descifrar y replicar formas que anteriormente eran inconcebibles. Para un estudiante de arquitectura, geometrías como los cristales, las superficies interpoladas o las superficies mínimas serían inabarcables sin los softwares que transforman las fórmulas matemáticas de manera gráfica y que facilitan el trabajo con parámetros.

Queremos aprovechar este artículo para presentar un proyecto realizado con alumnos para entender las superficies mínimas y con él, unirnos al debate abierto sobre el uso de las herramientas gráficas manuales, informáticas y tridimensionales en la educación inicial de un estudiante de arquitectura.

Nuestra meta en la asignatura de Laboratorio de Geometría y Forma equipar a los estudiantes con las habilidades necesarias para comprender y manipular la geometría de cualquier forma, ampliando significativamente sus horizontes creativos y disminuyendo cualquier reticencia a emplear estas formas en sus diseños futuros.

Este enfoque es un pilar central en el curso que impartimos en el segundo semestre del primer año del grado en Arquitectura. Nos basamos en la Geometría métrica y espacial impartida en el primer semestre a través del rigor del dibujo a mano y gracias a esa adquisición de contenidos anterior y a la visión espacial que ya poseen, podemos llegar a alcanzar geometrías complejas.

Nos apoyamos también en las otras asignaturas gráficas que se imparten a lo largo del curso; taller de Expresión Gráfica, taller de Creación Arquitectónica o Anatomía Arquitectónica, en las que se utilizan únicamente métodos tradicionales de dibujo, algo muy propio de estos primeros pasos en la formación del futuro arquitecto. De esta manera y gracias a la combinación de todas estas asignaturas, el alumno comprende la importancia del dibujo a mano para la expresión gráfica, pero a la vez dispone de las herramientas informáticas que le facilitan el entender y trabajar con la geometría más compleja. Nuestro enfoque pedagógico combina la generación digital con experiencias táctiles. Este método bidireccional no solo fortalece la comprensión teórica, sino que también enriquece la percepción sensorial de los estudiantes, vital para una práctica arquitectónica innovadora y consciente.

En los últimos años hemos optado por una metodología híbrida en la que se combinan ejercicios realizados a ordenador con otros realizados a mano y con la experimentación manual construyendo las diferentes formas geométricas. Construimos maquetas por ejemplo al explicar las superficies regladas, los sólidos de revolución, al estudiar soleamiento, las intersecciones de cubiertas o los taludes y terraplenes. Comprobamos que, al construir lo que están estudiando de una manera gráfica y bidimensional, el conocimiento adquiere profundidad y son capaces de entender lo que están dibujando e incluso anticipar los procedimientos. A la vez, también entienden más fácilmente la aplicabilidad de ese conocimiento, lo que contribuye a que le den una mayor importancia y a fijarlo en sus mentes.

Ese aprendizaje conjunto y paralelo de aspectos teóricos y prácticos es un básico en la enseñanza tradicional de la arquitectura y ha continuado siendo así con el Movimiento Moderno y hasta la actualidad, al menos en muchas de nuestras Escuelas. Por mencionar una experiencia que todos conocemos, en la Bauhaus convivía la enseñanza de un artista con un artesano en cada uno de los cursos que se impartían. Se combinaba el conocimiento completo y riguroso del material y de las técnicas que se debían utilizar para trabajarlo con la visión innovadora de un artista, que buscaba darle nuevos usos, combinarlo de manera creativa. A otro nivel, pero de la misma manera, buscamos que el alumno entienda el material y las posibilidades geométricas que este tiene para luego poderlo utilizar de manera artística y aplicada a la realidad. Para ello es necesaria la experimentación práctica (Fig.1), a la vez que el estudio teórico.



Fig.1 Alumnos trabajando con las superficies mínimas. Fuente: Autores

2. Superficies mínimas

Una de estas "nuevas geometrías complejas" mencionadas y que exploramos al final del semestre son las superficies mínimas, cuyo diseño y estudio requieren el apoyo de herramientas informáticas debido a su complejidad intrínseca. Las superficies mínimas son aquellas superficies cerradas que poseen un área mínima y una curvatura media cero en cada punto. El trabajo con distancias mínimas, superficies mínimas y volúmenes mínimos es de gran interés por la optimización de material. Sabemos que la línea recta es la distancia más corta entre dos puntos, que el círculo encierra más superficie con menor perímetro que cualquier otra forma plana y que la esfera hace lo mismo en cuanto a volumen. ¿Pero qué ocurre si las aristas o curvas que se quieren unir no son tan sencillas, sino que empiezan a adquirir una cierta complejidad? (Fig.2).

Las superficies mínimas se pueden categorizar en superficies clásicas (más fácilmente entendibles en general y que pueden ser definidas de otras formas, como superficies de revolución o superficies regladas), como son el plano, el catenoide o el helicoide, las superficies que fueron descubiertas y desarrolladas a lo largo del siglo XIX, como las superficies minimales

de Schwarz, de Riemann, de Enneper, de Henneberg y de Bour, y las superficies de los siglos XX y XXI, de bastante reciente descubrimiento, como son el giroide, la silla de montar, la superficie de Scherk, la de Costa y la de Chen-Gackstatter (Alonso, 2020).

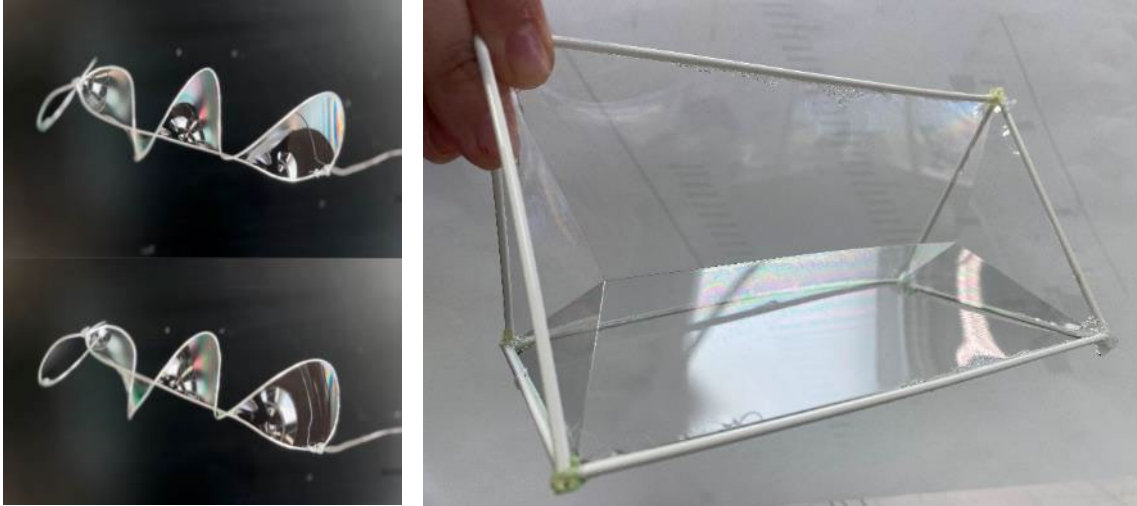


Fig. 2 Superficies mínimas generadas por los alumnos. Fuente: Autores

El estudio, la comprobación, la definición matemática y la generación de estas superficies mínimas sigue siendo un campo abierto en el mundo de la Matemática, así como sus aplicaciones. Por poner un ejemplo, aunque ya en 1887 fue Lord Kelvin quien lanzó la pregunta acerca de cuál era la espuma de pompas de jabón más eficaz, refiriéndose a cómo se podrían posicionar celdas de igual volumen con el mínimo área de contacto entre ellas, no fue hasta 1993 cuando dos físicos del Trinity College idearon la estructura de Weaire-Phelan, a la que nombraron con sus apellidos. En ese momento era simplemente un concepto matemático hasta que recientemente, en 2012, el profesor Ruggero Gabbrielli pudo construirla y así demostrarla (Gabbrielli, 2012).

Como se puede imaginar, el estudio de las superficies mínimas no es sencillo, pero a la vez y como mencionaremos más adelante, su uso está siendo cada vez más frecuente, por las ventajas de optimización que presentan. Para facilitarles a los alumnos este conocimiento, afrontamos su estudio a través de varios acercamientos.

Les introdujimos en la generación de las superficies mínimas a través de Grasshopper-Rhinoceros (Fig.3). Utilizamos estos programas ya que permiten la generación de geometrías de una cierta complejidad y su visualización y trabajo con ellas, para llegar a obtener documentos gráficos propios de un arquitecto.

Al ser geometrías no habitualmente utilizadas, no viene incluida en la interfaz de Grasshopper una herramienta que permita calcularlas y dibujarlas directamente, por lo que, si no se dispone de conocimientos matemáticos y de programación un tanto desarrollados, como suele ser el caso de nuestros estudiantes, es necesario ceñirse a algunos de los plug-ins desarrollados por programadores y que se pueden encontrar en diversas plataformas web. Estos no permiten la realización de cualquier superficie mínima, sino que tienen unos fuertes condicionante, pero para un primer acercamiento como el que realizamos, son suficientes.



Fig. 3 Algunas de las superficies mínimas generadas por los alumnos en Grasshopper. Fuente: Autores

A la vez, partimos de que, a pesar de la complejidad de las superficies mínimas, el concepto detrás de ellas es intuitivamente comprendido desde la infancia; por ejemplo, cuando observamos la formación de una pompa de jabón que naturalmente busca minimizar su área superficial, cuando se hincha un globo o cuando se estira una tela desde diferentes esquinas, juegos que todos hemos realizado desde pequeños. Inspirados en el trabajo pionero de Frei Otto, quien utilizaba maquetas para estudiar las tensiones superficiales en soluciones acuosas jabonosas y desde allí aplicarlo en la construcción de sus conocidas cubiertas, decidimos lanzarnos a estudiar este tipo de superficies tanto desde la informática como desde la experimentación.

3. Referencias

Antes de entrar a explicar el ejercicio que hemos realizado y para enfatizar la importancia que el estudio de este tipo de geometría puede tener en la actualidad, vamos a mencionar algunas de las referencias y ejemplos que les mostramos en clase a los alumnos (Ortega, 2021).



Fig. 4 Taichung Metropolitan Opera House. Toyo Ito.2010. Fuente: Creative Commons

Aunque sea una geometría de relativamente reciente descubrimiento, se han empleado en numerosas ocasiones tanto en el mundo de la arquitectura como en el del diseño de mobiliario o en el arte. Toyo Ito utiliza la Superficie de Scherk en el diseño de la Taichung Metropolitan Opera House (2006) (Fig.4), Zaha Hadid utilizó la superficie de Chen-Gackstatter en pabellón matemático del Museo de Ciencias de Londres (2016) y también se han construido parques infantiles utilizando giroides, como el levantado en el Museum Exploratorium de San Francisco. PTW Architects se basó en la pompa de jabón (en concreto en las mencionadas y explicadas estructuras de Weaire-Phelan y de Kelvin) para diseñar el centro acuático de Pekín en 2008 (Fig.5).



Fig. 5 Centro Acuático Nacional de Pekín 2008. PTW Architect. Fuente: Creative Commons

En el ámbito del diseño, Bruno Munari diseñó con la forma del catenoide la lámpara Falkand (1964) y con la misma geometría, Thomas Heatherwick ha realizado la Spun Chair (2010) (Fig.6). En cuanto a obras artísticas, han sido utilizadas en ejemplos como la Wavy Enneper (2011) de Alice Aycock, o en las obras de Eva Hild.



Fig. 6 Spun Chair de Thomas Heatherwick (2010). Fuente: Creative Commons

Aunque no todas las superficies tensadas son mínimas, ya que una superficie mínima debe cumplir que la curvatura media en cada punto es cero y las tensadas pueden tener fuerzas adicionales que hacen que no sigan esa forma ideal, estudiamos también dentro de esta parte de la asignatura las superficies tensadas. Dentro de las superficies tensadas contamos con innumerables ejemplos de arquitectura ligera desde la antigüedad, construida por medio de telas y en la actualidad, ha sido aprovechada especialmente para cubrir grandes luces. Entre otros ejemplos, empezando por la obra de Frei Otto podemos mencionar el pabellón para la Exposición de Jardinería (1963) en Hamburgo, el estadio Olímpico de Múnich (1972) (Fig.7), el Multihalle de Mannheim (1975) o el aviario del Zoo de Munich en Hellabrunn (1980). También presentamos a los alumnos otros ejemplos como cubierta del estadio del Levante UD, diseñada por Serge Ferrari en 2020, el Millennium Dome de Richard Rogers (2000), el estadio Rey Fahd de Riad (1987) de Michael KC Cheah o el más reciente Wanda Metropolitano(2017) en Madrid de Cruz y Ortiz.



Fig. 7 Estadio Olímpico de Munich 72. Frei Otto. Fuente: Creative Commons

4. Trabajo con superficies mínimas

El proyecto que vamos a presentar se ha alargado durante varios meses, lo que facilita que se pueda alcanzar una mayor complejidad, partiendo de elementos más básicos y acompañando el proceso de aprendizaje natural del alumno. Tuvo lugar en dos fases diferenciadas y evaluadas por separado, siendo la primera la base para la segunda. Cada una de esas fases tuvo una duración muy reducida, ya que se realiza cada una en una única semana, durante una clase teórica, con su correspondiente ejercicio práctico y una pequeña aplicación creativa.

Contamos con un grupo único de 100 alumnos, con formaciones previas muy diferentes y un alto porcentaje (alrededor del 35%) de alumnos internacionales que muchas veces poseen conocimientos previos diferentes. Esto supone un reto en las asignaturas del primer año, que intentamos solventar abarcando tanto los conocimientos básicos, pasando por ellos muy rápidamente, como la complejidad a la que se pretende llegar al final de la asignatura. Es por ello por lo que vemos la necesidad de afrontar cada ejercicio desde diferentes aspectos, ya que cada alumno puede llegar a entender el contenido de una manera diferente y será esa la que le abra al manejo total.

# Lados	Nombre	Familia	# Lados	Nombre	Familia
4	Tetraedro Regular	Poliedro regular convexo/Sólidos platónicos	17	Rotonda pentagonal	Sólido de Johnson (J06)
5	Prisma Triangular	Poliedro prismático / Prisma	17	Prisma hexagonal triaumentado	Sólido de Johnson (J57)
5	Pirámide Cuadrada	Sólido de Johnson (J01)	17	Esfenocorona Aumentado	Sólido de Johnson (J87)
6	Rombohedro Áureo Agudo	Isozonoedro Áureo (A6)	18	Antiprisma Octogonal	Antiprismas
6	Rombohedro Áureo Obtuso	Isozonoedro Áureo (O6)	18	Cúpula Cuadrada Alargada	Sólido de Johnson (J19)
6	Prisma Rectangular / Cuboide	Poliedro prismático / Prisma	18	Orthobicupola cuadrada	Sólido de Johnson (J28)
6	Cubo (Hexaedro Regular)	Poliedro regular convexo/Sólidos platónicos	18	Gyrobicupola cuadrada	Sólido de Johnson (J29)
6	Pirámide Pentagonal	Sólido de Johnson (J02)	18	Sphenomegacorona	Sólido de Johnson (J88)
6	Bipirámide triangular	Sólido de Johnson (J12)	20	Antiprisma Eneagonal	Antiprismas
7	Prisma Pentagonal	Poliedro prismático / Prisma	20	Icosaedro Rómbico	Isozonoedro Áureo (F20)
7	Pirámide triangular alargada	Sólido de Johnson (J07)	20	Icosaedro Regular	Poliedro regular convexo/Sólidos pla
8	Prisma Hexagonal	Poliedro prismático / Prisma	20	Gran Icosaedro	Poliedros regulares cóncavos/sólido:
8	Octaedro Regular	Poliedro regular convexo/Sólidos platónicos	20	Cúpula triangular giroelongada	Sólido de Johnson (J22)
8	Tetraedro Truncado	Sólido Arquimediano / Poliedros convexos semirreg	20	Orthobicupula triangular alargada	Sólido de Johnson (J35)
8	Cúpula Triangular	Sólido de Johnson (J03)	20	Gyrobicupula Triangular alargada	Sólido de Johnson (J36)
8	Gyrobifastigium	Sólido de Johnson (J26)	20	Dodecaedro aumentado en parábola	Sólido de Johnson (J59)
8	Prisma Triangular Aumentado	Sólido de Johnson (J49)	20	Dodecaedro metabiaumentado	Sólido de Johnson (J60)
8	Icosaedro tridimnado	Sólido de Johnson (J83)	20	Hebesphenorotunda triangular	Sólido de Johnson (J92)
9	Prisma Heptagonal	Poliedro prismático / Prisma	21	Hebesphenomegacorona	Sólido de Johnson (J89)
9	Pirámide Cuadrada Alargada	Sólido de Johnson (J08)	22	Antiprisma Decagonal	Antiprismas
9	Bipirámide Triangular Alargada	Sólido de Johnson (J14)	22	Cúpula Pentagonal Alargada	Sólido de Johnson (J20)
10	Antiprisma Cuadrado	Antiprismas	22	Orthobicupula pentagonal	Sólido de Johnson (J30)
10	Prisma Octogonal	Poliedro prismático / Prisma	22	Gyrobicupula pentagonal	Sólido de Johnson (J31)
10	Cúpula Cuadrada	Sólido de Johnson (J04)	22	Cubo Truncado Aumentado	Sólido de Johnson (J66)
10	Bipirámide pentagonal	Sólido de Johnson (J13)	24	Dos-tetraedro	Polítopos Compuestos
10	Prisma Pentagonal Aumentado	Sólido de Johnson (J52)	24	Dodecaedro triaumentado	Sólido de Johnson (J61)
10	Icosaedro Tridimnado Aumentado	Sólido de Johnson (J64)	24	Biesfenocingulo/Disphenocingulum	Sólido de Johnson (J90)
11	Prisma Eneagonal	Poliedro prismático / Prisma	24	Triaquistaedro	Sólidos de Catalán
11	Pirámide Pentagonal Alargada	Sólido de Johnson (J09)	24	Icositetraedro Deltoidal	Sólidos de Catalán
11	Prisma Triangular Biaumentado	Sólido de Johnson (J50)	24	Icositetraedro Pentagonal	Sólidos de Catalán
11	Prisma Hexagonal Aumentado	Sólido de Johnson (J54)	24	Tetraquihexaedro	Sólidos de Catalán
12	Antiprisma Pentagonal	Antiprismas	26	Rombicuboctaedro	Sólido Arquimediano / Poliedros con
12	Dodecaedro de Biliński	Isozonoedro Áureo (B12)	26	Cuboctaedro Truncado	Sólido Arquimediano / Poliedros con
12	Antiprisma Triangular	Poliedro prismático / Prisma	26	Cúpula Cuadrada Giroelongada	Sólido de Johnson (J23)
12	Prisma Decagonal	Poliedro prismático / Prisma	26	Gyrobicupula Cuadrada Alargada	Sólido de Johnson (J37)
12	Dodecaedro Regular	Poliedro regular convexo/Sólidos platónicos / Sólido	26	Bicupula Triangular Giroelongada	Sólido de Johnson (J44)
12	Gran dodecaedro	Poliedros regulares cóncavos/sólidos de Kepler-Poi	26	Antiprisma cuadrado chato	Sólido de Johnson (J85)
12	Gran dodecaedro estrellado	Poliedros regulares cóncavos/sólidos de Kepler-Poi	27	Rotonda Pentagonal Alargada	Sólido de Johnson (J21)
12	Pequeño dodecaedro estrellado	Poliedros regulares cóncavos/sólidos de Kepler-Poi	27	Orthocupolarotunda pentagonal	Sólido de Johnson (J32)
12	Cúpula pentagonal	Sólido de Johnson (J05)	27	Gyrocupolarotunda pentagonal	Sólido de Johnson (J33)
12	Bipirámide Cuadrada Alargada	Sólido de Johnson (J15)	30	Cubo Truncado Biaumentado	Sólido de Johnson (J67)
12	Icosaedro metabidimnado	Sólido de Johnson (J82)	30	Triacontaedro Rómbico	Sólidos de Catalán / Isozonoedro Áu
12	Disenoide desagradable	Sólido de Johnson (J84)	32	Dos-tetraedro truncado	Polítopos Compuestos
12	Lámpara	Sólidos de Catalán	32	Dodecaedro Truncado	Sólido Arquimediano / Poliedros con
12	Triaquistetraedro	Sólidos de Catalán	32	Icosaedro Truncado	Sólido Arquimediano / Poliedros con
13	Pirámide cuadrada giroelongada	Sólido de Johnson (J10)	32	Icosidodecaedro	Sólido Arquimediano / Poliedros con
13	Prisma Pentagonal Biaumentado	Sólido de Johnson (J53)	32	Cúpula pentagonal giroelongada	Sólido de Johnson (J24)
14	Antiprisma Hexagonal	Antiprismas	32	Orthobitrotunda pentagonal	Sólido de Johnson (J34)
14	Compuesto de cubo y octaedro	Polítopos Compuestos	32	Orthobicupula Pentagonal Alargada	Sólido de Johnson (J38)
14	Cubo Truncado	Sólido Arquimediano / Poliedros convexos semirreg	32	Gyrobicupula Pentagonal Alargada	Sólido de Johnson (J39)
14	Cuboctaedro	Sólido Arquimediano / Poliedros convexos semirreg	32	Rombicosidodecaedro tridimnado	Sólido de Johnson (J83)
14	Octaedro Truncado	Sólido Arquimediano / Poliedros convexos semirreg	34	Bicupula Cuadrada Giroelongada	Sólido de Johnson (J45)
14	Cúpula Triangular Alargada	Sólido de Johnson (J18)	37	Rotonda pentagonal giroelongada	Sólido de Johnson (J25)
14	Orthobicupula triangular	Sólido de Johnson (J27)	37	Orthocupolarotunda Pentagonal Alarg	Sólido de Johnson (J40)
14	Prisma triangular triaumentado	Sólido de Johnson (J51)	37	Gyrocupolarotunda Pentagonal Alarg	Sólido de Johnson (J41)
14	Prisma Hexagonal Parabiaumentado	Sólido de Johnson (J55)	38	Cubo Romo / Cubo Chato	Sólido Arquimediano / Poliedros con
14	Prisma hexagonal metabiaumentado	Sólido de Johnson (J56)	42	Orthobitrotunda Pentagonal Alargada	Sólido de Johnson (J42)
14	Tetraedro Truncado Aumentado	Sólido de Johnson (J85)	42	Gyrobitorunda Pentagonal Alargada	Sólido de Johnson (J43)
14	Sphenocorona	Sólido de Johnson (J86)	42	Bicupula Pentagonal Giroelongada	Sólido de Johnson (J46)
14	Bilunabirrotunda	Sólido de Johnson (J91)	42	Dodecaedro truncado aumentado	Sólido de Johnson (J68)
15	Bipirámide Pentagonal Alargada	Sólido de Johnson (J16)	42	Rombicosidodecaedro parabidimnado	Sólido de Johnson (J80)
16	Antiprisma Heptagonal	Antiprismas	42	Rombicosidodecaedro metabidimnado	Sólido de Johnson (J81)
16	Pirámide pentagonal giroelongada	Sólido de Johnson (J11)	42	Gyrate Bidiminished Rhombicosidode	Sólido de Johnson (J82)
16	Bipirámide cuadrada giroelongada	Sólido de Johnson (J17)	47	Cupolarotunda pentagonal giroelonga	Sólido de Johnson (J47)
16	Dodecaedro Aumentado	Sólido de Johnson (J58)			

Fig. 8 Listado de poliedros con los que trabajamos en el ejercicio. Fuente: Autores

Estamos al frente de la asignatura tres profesores, ayudados cada año por cinco o seis alumnos colaboradores de cursos superiores, que obtuvieron al cursar la asignatura excelentes calificaciones y a los que iniciamos en las labores docentes y de investigación.

En la primera de las fases de este proyecto, introdujimos el ejercicio de las superficies mínimas al comienzo del segundo semestre, a través de una sesión dedicada a los poliedros, donde se estudiaban sus propiedades, métodos de construcción, intersecciones, etc. Después de hacer varios ejercicios y sin advertirles del uso posterior, pedimos a cada alumno un ejercicio un tanto singular: debía construir con alambre un poliedro diferente, asignado entre los sólidos platónicos, arquimedianos, de Kepler-Poinsot, prismas, antiprismas, sólidos de Catalan y de Johnson. Asignamos poliedros hasta llegar a los 100 alumnos que siguen el curso (Fig.8). El listado de

sólidos diferentes y su desarrollo provenía de un proyecto de investigación realizado con alumnos colaboradores hace cuatro años. Esos alumnos, que durante el año en el que se hizo este proyecto, cursaban 5º curso, fueron los encargados de presentar en clase sus investigaciones sobre poliedros y ayudarnos a seguir el desarrollo de esta primera fase.

A la vez que lo construían, con una dimensión máxima de 15 cm, tenían que buscar un uso dentro del ámbito del diseño o de la arquitectura para dicho poliedro (Fig.9). Como base para la estructura alámbrica y como ejercicio de visión espacial, debían realizar también una maqueta de las mismas dimensiones con papel, a partir del desarrollo del poliedro.

Unos meses más tarde, y después de haber ido aumentando la complejidad de la geometría a abarcar, impartimos una clase en la que categorizamos las superficies mínimas según ya hemos mencionado. Además de iniciarles en la base geometría y matemática de estas superficies, les mostramos múltiples ejemplos de cómo las superficies mínimas han sido utilizadas tanto en el diseño como en la arquitectura.

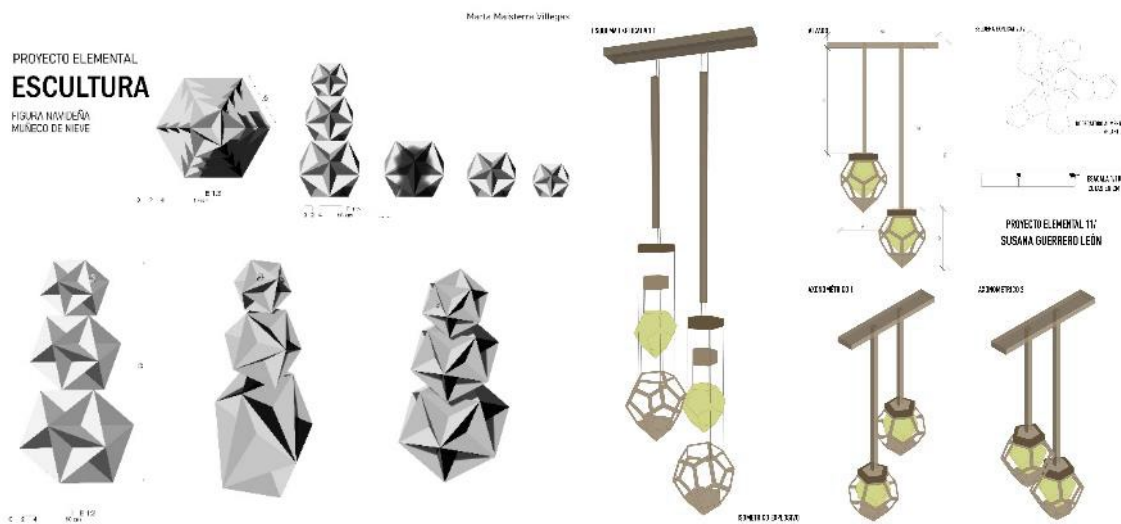


Fig. 9 Usos creativos de los poliedros. Fuente: Marta Maisterra y Susana Guerrero

A la sesión teórica le siguió una sesión práctica, en la que de manera simultánea los alumnos tenían que abordar la aproximación a las superficies desde dos puntos de vista. El primero fue realizando diferentes ejercicios con Grasshopper, cubriendo espacios con superficies mínimas con condicionantes geométricos y reproduciendo algunas estructuras ya construidas. A la vez, y trabajando de esta manera desde lo manual y trabajando el modo de conocimiento inductivo, en grupos reducidos experimentaban con las superficies mínimas generadas en pompas de jabón.

Para ello, utilizamos dos barreños, en los que realizamos la mezcla necesaria de agua, detergente y glicerina para obtener un líquido cuya consistencia permitiera la generación de pompas. (Bragado 2024) Los alumnos recuperaron para este ejercicio las maquetas alámbricas de poliedros que habíamos conservado en el departamento y las fueron sumergiendo

sucesivamente en el líquido, analizando las formas obtenidas, intentado intuir antes cómo se formarían y realizando fotografías y dibujos a mano de las mismas (Fig.10).

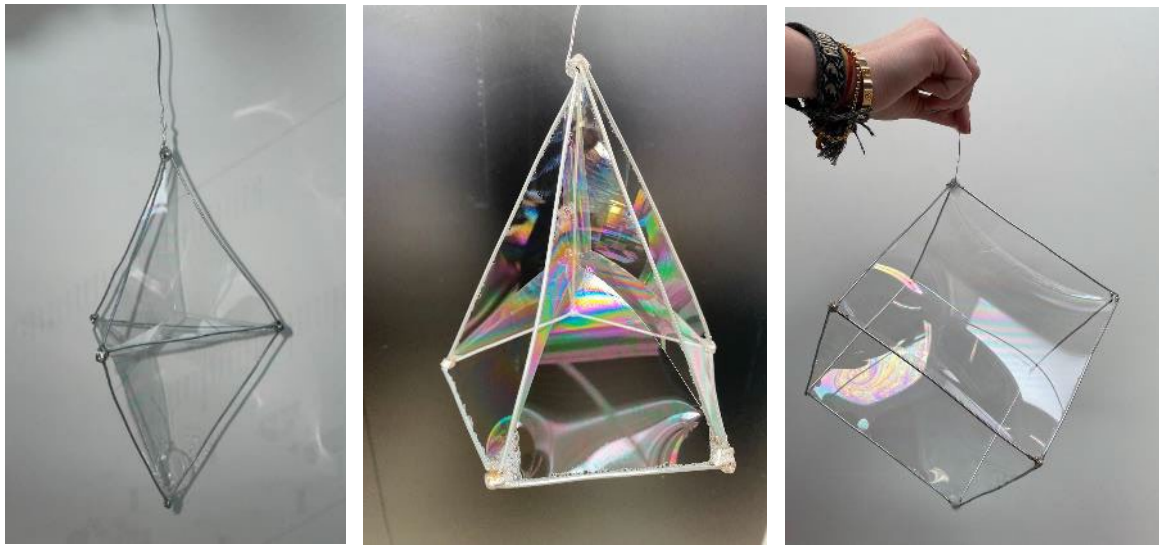


Fig. 10 Superficies mínimas generadas por los alumnos. Fuente: Autores

Además de utilizar los poliedros como base para generar superficies mínimas, animamos a los estudiantes a que siguieran con la experimentación, intentando reproducir con el alambre las formas que generarían algunas de las superficies mínimas estudiadas.

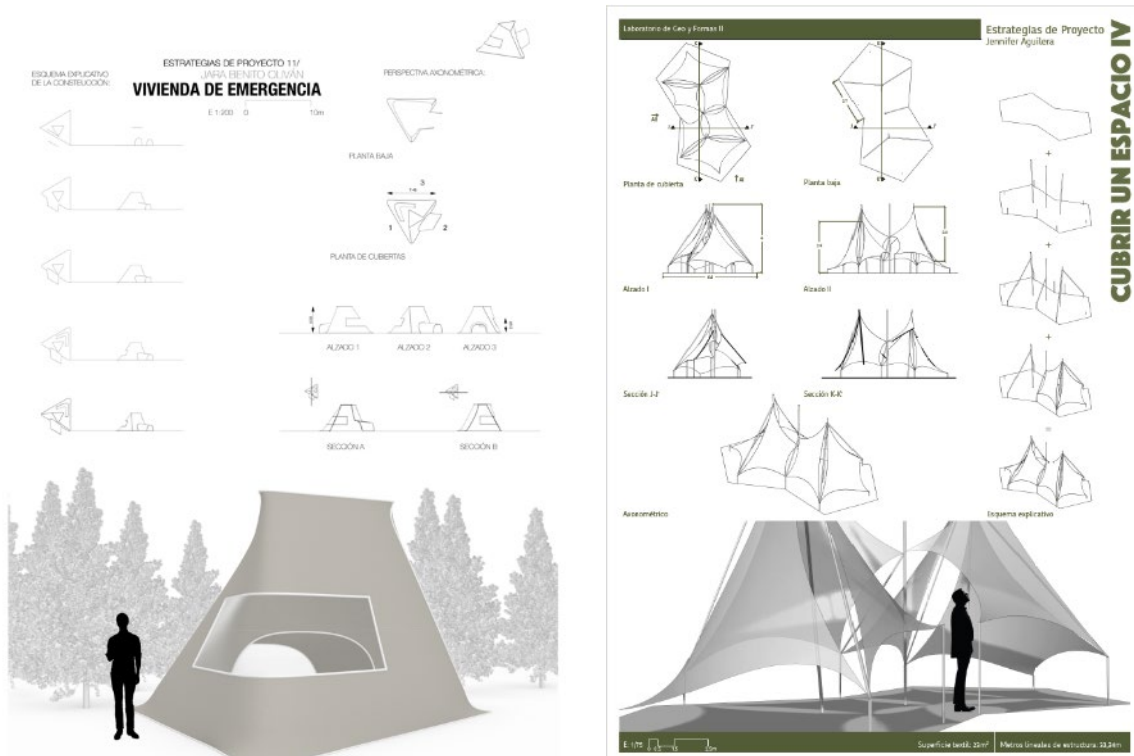


Fig. 11 Ejercicios realizados por los alumnos con superficies tensadas. Fuente: Jara Benito y Jennifer Aguilera

Una última fase de este ejercicio y que actuó a modo de cierre, consistió en poner a prueba su aprendizaje aplicándolo creativamente a través del diseño de una pequeña cubierta de tela tensada para un módulo de emergencia (Fig.11), en el que utilizaban algún tipo de estructura rígida que actuaba como base para sostener la superficie tensada. Es un acercamiento al tema

desde otro punto de vista. Nos hemos planteado como posibilidad para futuros años que la experimentación que realicen los alumnos pueda ir también de la mano de la construcción de estructuras tensadas, fijas en diferentes puntos, con diferentes alturas. Es algo muy aplicable a la construcción de cubiertas y que ellos mismos pueden construir a escala real como estructuras efímeras.

5. Método de aprendizaje

La enseñanza con medios informáticos desde el primer curso es una cuestión que está continuamente en debate, con sus detractores y sus defensores. Tiene sus puntos positivos y sus puntos negativos, que de alguna manera hay que suplir. Nos apoyamos para nuestro planteamiento en artículos como el escrito por los profesores de la ETSAV para el Congreso EGA (Cisneros 2016), en el que defienden cómo este trabajo con las nuevas tecnologías permite, al menos en el campo de la Geometría, el llegar a una complejidad antes inimaginable. El si debemos alcanzar dicha complejidad o si es mejor asentar las bases y mejorar las habilidades manuales y espaciales fundamentales está encima de la mesa y será una opción a estudiar.

Con ejercicios como el que hemos explicado y con la asignatura dividida en dos semestres, siendo el primero manual y el segundo híbrido, intentamos responder a estas preguntas y ver si es posible obtener los dos objetivos; que se entienda, se asienten los conocimientos, se profundice y a la vez se pueda llegar a trabajar con geometría complejas, lo que amplía enormemente las herramientas de trabajo del futuro arquitecto y le otorga una enorme libertad formal. Nos gustaría que cualquier alumno que lo deseara pudiera emplear en sus futuros proyectos formas complejas, sin tener que prescindir de ello por miedo a su dificultad o por falta de conocimiento. Esta es una inquietud que compartimos con otras Escuelas (Álvaro-Tordesillas, 2024); plantear el dotar al alumno de un dominio y un entendimiento tal de la geometría que esta no sea el problema en prácticamente ningún planteamiento.

Lo que sí que consideramos fundamental es que la clase de Geometría no se convierta en una clase de informática (Crespo-Cabillo, 2023), por lo que el alumno debe aprender el manejo de la herramienta por su cuenta, con tutoriales que les facilitamos, aplicados a cada ejercicio y muchos más que puede encontrar en la red si desea ampliar su habilidad. La conjunción de trabajo manual, construcción y experimentación háptica con formas complejas junto con el estudio de



Fig. 12 Alumnos trabajando con las superficies mínimas. Fuente: Autores

estas a través de la programación, facilitan un entendimiento mucho más profundo y que abarca todos los acercamientos posibles al tema, dándole unidad (Casado-Rezola, 2021).

En el último congreso EGA, Virginia de Jorge hablaba de la necesaria aplicabilidad del contenido que el alumno necesita percibir continuamente al estudiar Geometría (De Jorge, 2024). Por ello trabajamos continuamente con referencias de obras ya construidas y le demostramos de alguna manera su habilidad y conocimiento para hacerlo construyendo esas formas (Fig.12). El tema de la experimentación táctil en nuestro ámbito es fundamental, como afirman González Uriel et al; “Se ha comprobado que el manejo de elementos físicos y la necesidad de construir con dimensiones, volúmenes y gravedad hacen aflorar cuestiones fundamentales para un arquitecto también relacionadas con la forma.” (González, 2024). Genera en el alumno preguntas que buscan respuesta y que son las que transforman el conocimiento abstracto en una posible herramienta a usar, por lo que afronta el estudio de una manera diferente, con un mayor interés.

6. Conclusiones

El ejercicio fue de gran aprendizaje para los alumnos, gracias al acercamiento desde diferentes enfoques, desde el primer trabajo de construcción de poliedros, imaginando sus usos, siguiendo con la experiencia lúdica de formar superficies mínimas con jabón (Fig.13), pasando a su dibujo a mano y llegando a su representación exacta y su cálculo matemático gracias al ordenador. Son enfoques muy diferentes, pero que solamente gracias a su combinación permiten el paso de lo teórico a lo experimental y de la intuición a la certeza.

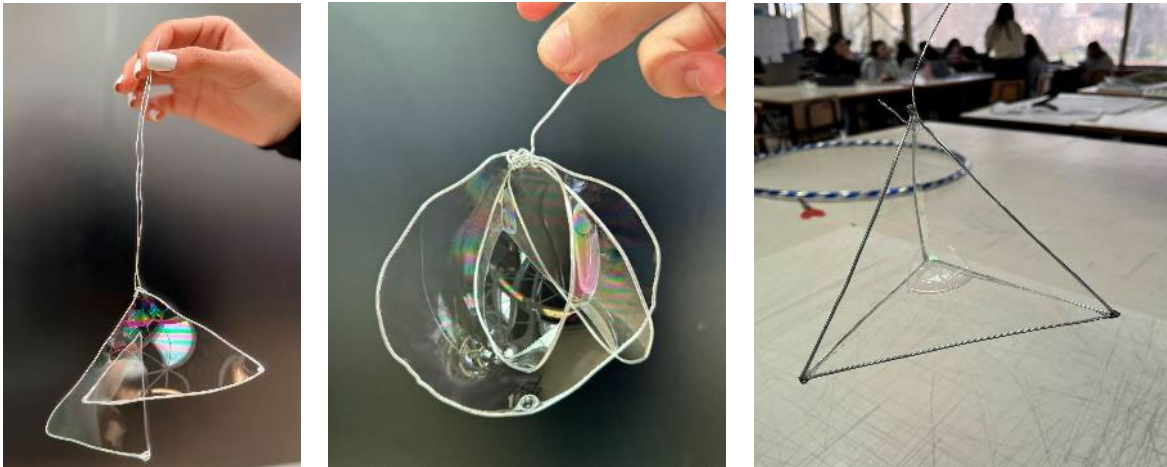


Fig. 13 Superficies mínimas generadas por los alumnos. Fuente: Autores

Con este tipo de ejercicios se consigue la involucración del alumno en su propio aprendizaje, en una asignatura con una gran carga técnica y con creciente dificultad. Al plantear desde los primeros cursos de la carrera este acercamiento al conocimiento polifacético y aplicado se hace comprensible la importancia de lo que se está estudiando.

Es cierto que nos planteamos en la asignatura que podría existir un cierto riesgo hacia el formalismo, hacia el abuso de la forma compleja por el hecho de ser más novedosa o que los alumnos pudieran caer en la confusión con respecto a la escala de lo que están diseñando en el ordenador o del presupuesto que conllevaría esta construcción, pero nuestra experiencia nos dice que al pasar por las asignaturas de Proyectos y al ir añadiendo aspectos constructivos y estructurales a sus diseños, ese posible peligro se elimina, llegando a hacer en los proyectos finales de grado unos edificios sensatos, a la vez que innovadores.

Es difícil evaluar la mejora de los conocimientos de los alumnos y la eficacia de este afrontamiento, pero sí que podemos medirlos a través de las reuniones que tenemos con los profesores de la asignatura de Taller de Proyectos del segundo curso, en la que perciben cómo los alumnos se lanzan con mayor frecuencia a utilizar geometrías complejas en sus proyectos, sobre todo en aquellos que son más experimentales. Se pueden ver esporádicamente maquetas de cubiertas con superficies tensadas en la Escuela fruto de entregas de Proyectos de prácticamente todos los cursos. De hecho, recibimos varias veces a alumnos de cursos superiores que acuden a los profesores de Geometría para preguntarnos sobre algunas cuestiones que les surgen al aplicar en sus proyectos los conocimientos que aprendieron cuando cursaban la asignatura.



Fig. 14 Alumnos trabajando con las superficies mínimas. Fuente: Autores

Estos ejercicios, cuando se realizan inicialmente, generan mucho trabajo para el profesor, tanto por la planificación, el pensar qué será lo más adecuado, cómo afrontarlo, qué ejercicios realizar, qué problemas se puede encontrar el alumno, cuál puede ser su proceso mental al afrontarlo, etc. También después de una primera experiencia se obtienen nuevos aprendizajes y se mejora cada ejercicio, cambiando sutil o totalmente los ejercicios, para abarcar otros campos o paliar errores cometidos; los resultados pueden no ser tan perfectos como se esperaba, el tiempo que le ha llevado al alumno ha sido demasiado, o no ha conseguido entender lo que se buscaba. Esta tarea, de ingente trabajo, que todos los profesores afrontamos, produce una enorme satisfacción y adquiere sentido cuando se percibe el disfrute y agradecimiento de los alumnos (Fig.14) por intentar hacerles más asequible el conocimiento sin dejar de exigirles y también cuando los resultados posteriores muestran la asimilación de dicho contenido.

7. Bibliografía

Alonso Pedrero, Fernando Manuel. 2020. *Proyectar forma Matemática*. Universidad de Navarra.

Álvaro-Tordesillas, Antonio; Lafuente-Sánchez, Víctor-Antonio; López-Bragado, Daniel y Martínez-Vera, Marta. 2024. «Autonomy, Mastery, and Purpose in Descriptive Geometry Students: The Value and Importance of Long-Term Exercise». En *Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*. Universidade da Caruña. Coordinado por L.Hermida y J. P. Sampaio, 221-229.

Bragado Rodríguez, Juan. «Películas de jabón y superficies mínimas». Accedido 10 septiembre 2024. www.juanbragado.es

Casado-Rezola, Amaia; Sanchez-Parandiet, Antonio; Leon-Cascante, Iñigo. 2021. «Nuevos retos docentes en geometría a través de la cestería». En *Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura*. Universidad de Valladolid. Coordinado por B. Bardí-Milà y D. García-Escudero. 342-353.

Cisneros-Vivó, Juan J. y Cabezos-Bernal, Pedro M. 2016 «La enseñanza de la Geometría Descriptiva en la era digital» En *Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*. Alcalá de Henares, coordinado por E. Echeverría y E. Castaño. 377-384.

Crespo-Cabillo, Isabel; Àvila-Casademont, Genís. 2023. «Modelado arquitectónico: construyendo geometría». En *Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura*. Universidad de Granada. Coordinado por B. Bardí-Milà y D. García-Escudero. 503-514.

de Jorge Huertas, Virginia. 2024 «Redes cristalinas hexagonales: polígonos, patrones e ilusiones» En *Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*. Universidade da Coruña. Coordinado por L.Hermida y J. P. Sampaio. 271-275.

Gabrielli, Ruggero; Meagher, Aaron J.; Weaire, Denis; Brakke, Kenneth A y Hutzler, Stefan. 2012. «An experimental realization of the Weaire–Phelan structure in monodisperse liquid foam», En *Philosophical Magazine Letters*, 92:1, 1-6.

González Uriel, Ana; Ramos Martín, Manuel; Aliberti, Licia y Guillem González-Blanch, María. 2024. «Geometría y Maquetas Móviles». En *Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*. Universidade da Coruña. Coordinado por L.Hermida y J. P. Sampaio. 222-226.

Ortega Ureña, Juan José. 2021. *Introducción al estudio de las superficies mínimas*. Trabajo Final de Grado. Facultad de Matemáticas. Departamento de Geometría y Topología. Universidad de Sevilla.