

# El dibujo y las matemáticas. Una docencia integrada

Alberto Lastra Sedano; Manuel de Miguel Sánchez;  
Enrique Castaño Perea; Ernesto Echeverría Valiente

*Universidad de Alcalá (Departamento de Matemáticas / Departamento de Arquitectura)*

*Abstract:* In 2011 it was started, at the School of Architecture of Alcalá, a new course called: *Taller de Dibujo II*. Its main goal was to convey the importance of studying an architectural object from different points of view. The link would be the geometry, the coordinated subjects: design and mathematics. Teachers from both departments began an integrating task. They had two different ways of understanding teaching. It would be a subject in constant evolution. So we started an educational innovation project, which is ongoing. (UAH /EV519).

In the last ten years the importance of the parameterization has grown significantly in fields like design, engineering and architecture. Our School of architecture implemented an interdisciplinary group that was able to introduce these new skills. "The rigorous parameterization requires the assimilation of concepts much closer to mathematic geometry and software programming" (Coloma, Mesa 2012). But some experiences around the subject have put their emphasis on tools, neglecting, in our opinion, the methodological basis.

Although traditional teaching materials are not fully useful to this new subject, accumulated experiences are very valuable. Grassa-Miranda (2010) regarding the traditional teaching of geometry states that "The grammar or guiding principles of the Spanish *sistema diédrico* uses the projective schema of a model to build the student's spatial thinking, while the Anglo-Saxon direct method relies on the reconstruction of a mental image of the geometric configuration" In a similar way, we considered the importance of the object opposite to the system, or the process.

Therefore, the starting points of our methodology are the works of architecture and engineering. Objects with a complex geometry, especially those which curves and surfaces are able to be parameterized. The curve and surface become that way, protagonists of

the experience. The next step is to thoroughly analyze through operations of modification and intersection.

A good analysis of a work with a complex geometry, involves the preliminary study of the project and the knowledge of the difficulties and intentions of the author. Often the most interesting geometric designs arise from the need of finding creative solutions for complex problems with the most simple and balance response, as a whole. Many of the works built by Torroja, Candela, Dieste, Maillart, Isler, Freyssinet, Frei Otto, Fisac and many others, show that the study of the object cannot be limited to the representation of form.

In this article we will show our experience and several possibilities to develop about the subject. We will describe the overall strategy and present some concrete exercises defining our scope. Finally we will propose several alternatives for further applications in future editions of the course.

*Keywords:* Teaching of geometry. Architectural geometry.

La enseñanza de la geometría tradicionalmente se ha apoyado en el uso de objetos abstractos, puntos, líneas, planos, prismas, conos, cilindros, etc. Maximizando la reducción de los elementos que intervienen en el planteamiento el alumno se concentra en los conceptos generales. Los ejercicios se estructuran de manera que cualquier problema complejo se pueda dividir en varios de menor dificultad, para cada uno de los cuales se pone a disposición del estudiante procedimientos independientes. Este proceder sigue formando parte importante en la enseñanza básica de la geometría. Sin embargo, frente a su enorme potencia instrumental encontramos que desarrolla habilidades inconexas y carece de una visión más profunda del

objeto arquitectónico en tanto que proyecto geométrico complejo. Introducimos el estudio de caso como medio principal de conocimiento aplicado.

La metodología denominada aprendizaje basado en problemas (ABP) se ajusta adecuadamente a las directrices de esta investigación. Ésta consiste en la proposición de problemas como punto de arranque para la adquisición de nuevos conocimientos. Tal herramienta potencia el autoaprendizaje, el desarrollo de competencias, el aumento de la motivación, la empatía y el respeto entre individuos. Se desarrolla en tres etapas, inicial, en la que se identifican los requisitos previos, recursos y metas parciales, etapa de implementación, en la que se alcanzan las metas parciales dirigidas hacia el proyecto final y la etapa final, en las que se elaboran las conclusiones tras completar el proyecto y se produce la retroalimentación final (Agudo 2010).

Taller de Dibujo II es una asignatura dedicada al estudio de la geometría, en segundo curso de Grado en Fundamentos de Arquitectura y Urbanismo. Esto nos permite apoyarnos en los conocimientos adquiridos en primer curso y progresar en la construcción de conjuntos con suficiente agilidad como para abordar estructuras concretas. Para ello nos apoyamos en el uso del ordenador. Existe un gran número de programas informáticos del entorno del diseño y las matemáticas que permiten construir modelos de toda índole, pero emplearlos de manera eficiente y profundizar en ellos, un buen conocimiento de la geometría es esencial (Pottmann, Asperl *et al.* 2007).

La arquitectura y la ingeniería nos brindan un nutrido grupo de ejemplos a estudiar, objetos de geometría compleja, sobre todo aquellos que presentan curvas y superficies parametrizables. En torno a esta cuestión convenimos que “La verdadera idea de arquitectura paramétrica se aleja de los proyectos como *performance*” (Viamonte, Peinado 2014) y por ello los objetivos del análisis del objeto se deben definir nítidamente, centrándose en la relación con su geometría.

Los poliedros son objetos de gran interés para la arquitectura y la construcción, en gran medida por su facilidad para ser analizados como conjuntos de planos y con la ventaja añadida de que las intersecciones entre ellos son rectas. Aunque por esa misma capacidad de simplificación, desde el punto de vista geométrico, tales cuerpos presentan menos complejidad formal y por tanto son menos interesantes que las curvas y superficies, que se convierten así en protagonistas de la

experiencia. La gran aportación de los conocimientos de matemáticas aplicados a esta materia, es que permiten al alumno la determinación de las variables que definen las formas concretas, aquello que las caracteriza radicalmente desde su proyecto. Dentro de una formulación genérica se sitúan los parámetros que hacen que tal curva o superficie tenga unas u otras características, la composición se aborda entonces desde los límites de la abstracción numérica. La geometría matemática y la programación facilitan la aproximación rigurosa al estudio del objeto (Coloma, Mesa 2012).

El siguiente paso es profundizar en el análisis formal a través de las operaciones de transformación e intersección. Una vez reducido el problema a la clasificación básica, aprendida en cursos previos de geometría, comienza el enfrentamiento a los primeros niveles de comprensión de lo contingente. El análisis desciende de la abstracción más absoluta, referida previamente, a los problemas que confieren corporeidad al objeto arquitectónico o de ingeniería. Por ejemplo una bóveda podrá entenderse en un primer momento como intersección entre cilindros y su estudio geométrico ofrecerá interesantes reflexiones, pero a continuación hay que plantearse qué ocurre con el enfrentamiento al propio proceso constructivo, trazados, despieces, etc. Otro ejemplo claro es la definición de los diferentes grosores que dan verosimilitud a la construcción de una cáscara de hormigón. El modelo se realiza a partir de la geometría del objeto, el 3D es un receptor de información (García Reig 1999b), los niveles de definición del mismo responden a una estrategia escalonada, que coordina desde la más pura abstracción, descendiendo gradualmente, hasta el nivel que requiera la investigación.

El estudio del objeto no se puede limitar a la reproducción de la forma. Analizar una obra de geometría compleja hace aconsejable el estudio del proyecto. Taller de dibujo II, en las fases iniciales de cada trabajo, requiere una investigación sobre los autores de las obras y las circunstancias que enlazan estas con aquellos. La recopilación de la información gráfica, tanto fotografías como planos, permite al estudiante ampliar su memoria bibliográfica y enfocar sus intereses formales para proyectos futuros. Por otro lado, la documentación histórica, el conocimiento de los actores que intervinieron en la génesis y desarrollo del proyecto, ayudan a entender la magnitud de la solución (Castaño Perea, De Miguel Sánchez *et al.* 2014).

A menudo los diseños geoméricamente más interesantes surgen de la necesidad. Las búsquedas de

soluciones en los límites de las posibilidades materiales tensan las capacidades del proyectista y aportan soluciones técnicas imaginativas, no carentes de un gran interés plástico, por añadidura (Llorente Zurdo, De Miguel Sánchez *et al.* 2012). La configuración de esta parte de la cultura arquitectónica incluye la incorporación de autores de gran interés por su dominio de la geometría y la construcción. Muchos de ellos arquitectos no suficientemente valorados por los estudiantes de primeros cursos, como Félix Candela, Miguel Fisac o Emilio Pérez Piñero.

Pero si por algo ha destacado esta asignatura dentro del Grado de Fundamentos ha sido por el reconocimiento de los logros de los grandes ingenieros. Aportaciones al campo de las formas arquitectónicas como las de Eduardo Torroja, Eugène Freyssinet, Eladio Dieste, Robert Maillart, Heinz Isler, Frei Otto, etc. son integradas como configuraciones excepcionales del espacio. Asombrosas estructuras que dominan la gravedad gracias al control estricto de su geometría y que han transformado el panorama arquitectónico contemporáneo de manera radical.

La tutoría es una base fundamental para el apoyo del profesor hacia el estudiante y el seguimiento del proceso académico. Ésta se implementa en la planificación inicial de la asignatura, planteada desde las competencias, tanto del tutor como del alumno. Consideramos fundamentales las competencias de comunicación eficaz, manejo de conflictos, planificación y trabajo en equipo (Castaño 2012).

En este artículo mostramos modelos desarrollados durante el pasado curso. El orden de los trabajos se relaciona directamente con el estudio de sus elementos geométricos y con la sucesión de conocimientos matemáticos que éstos requieren. Así comenzamos el curso con la parametrización de curvas planas, para después tratar curvas en el espacio y finalmente tomamos ejemplos de superficies, tanto cuádricas como otras superficies alabeadas, bien regladas o como redes de curvas.

### Curvas

Aunque para comprender las construcciones no se puede prescindir de ninguna de sus tres dimensiones, se puede hablar de estructuras lineales y superficiales, con ello se quiere decir que una de las dimensiones es de menor importancia respecto de las otras dos, en lo que a su configuración geométrica se refiere. Las curvas

que definen los arcos son una notable fuente de modelos para la asignatura “si la columna es arte, el arco es técnica” (Torroja 2000). Los estudios geométricos de estos elementos parten de la parametrización de las diferentes curvas, pero no se pierde de vista la comprensión de su razón constructiva y estructural. El arco de círculo, permite un notable control de las relaciones, siempre acompañado por el muro para llevar las cargas hasta cimentación. La belleza de la cicloide, cuyas proporciones vienen fijadas por su definición, remite a una recreación en los conceptos matemáticos. Los arcos exentos obligan a que su forma se adapte al funicular de las cargas y por ello se utiliza la parábola, que se flexibiliza muy a menudo para acercarse más a la catenaria, curva que describe físicamente la disposición de esas cargas.

Los arcos exentos de directriz parabólica se identifican con la sabiduría ingenieril moderna. Desde los estudios desarrollados por Giovanni Poleni (1683-1761) sobre la cúpula de San Pedro en 1748 (Heyman 1999), encontrando en muchos arcos de puente de los siglos XIX y XX, hasta el gran arco Gateway de Eero Saarinen, en San Louis, Misuri, terminado en 1968, el poder de las fuerzas ha enriquecido el espacio construido con estas curvas, estructuralmente muy puras y formalmente muy atractivas.

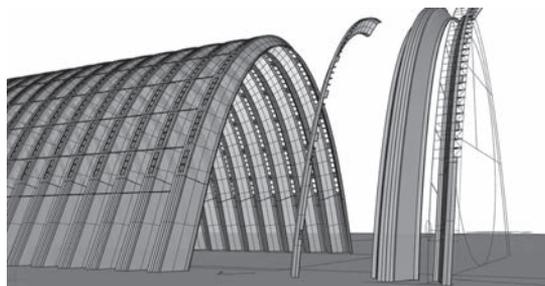


Figura 01. Eugène Freyssinet, 1923, *Hangares de Orly*, Francia.

Los hangares para dirigibles de Orly, realizados por el ingeniero francés Eugène Freyssinet en 1923 y destruidos en la segunda guerra mundial, son un poderoso ejemplo de espacio cubierto con una bóveda de directriz parabólica, formada por una lámina plegada de 86 metros de luz y apenas 9 centímetros de espesor. La onda tiene una amplitud variable de 5.4 metros en la base a 3 metros en la clave. Esta impresionante estructura se hace posible gracias a su forma. Las necesidades de neutralizar el peso propio se solucionan con el arco parabólico, mientras los efectos del viento se resisten por medio del aumento de inercia que proporciona la ondulación de la lámina. Estudiar este

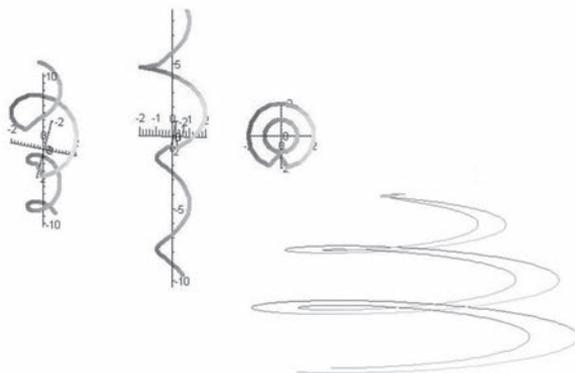
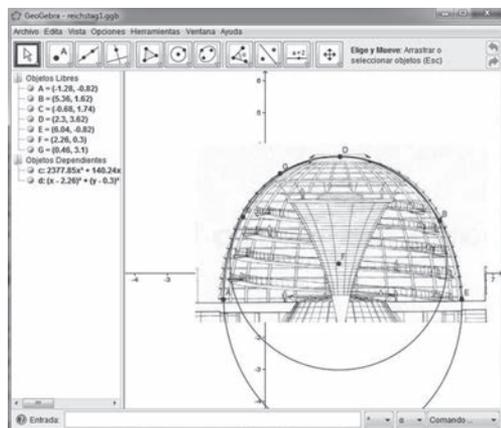


Figura 02. Norman Foster y Partners, 1999, *Cúpula del Reichstag*, Berlín, Alemania. Curva asociada a la parametrización del modelo.

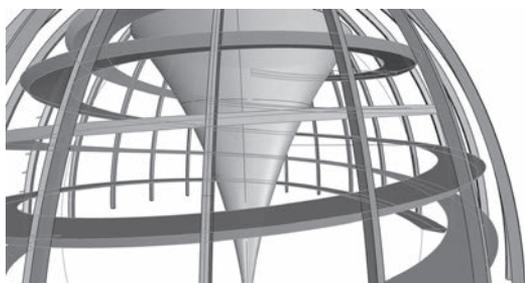


Figura 03. Norman Foster y Partners, 1999, *Cúpula del Reichstag*, Berlín, Alemania.

La doble hélice de la cúpula del parlamento alemán, de Norman Foster, terminado en Berlín en 1999, exhibe un espacio transparente, que es diseñado para transmitir una idea de dinamismo ilimitado. Se configura como dos rampas enroscadas, una para el sentido de ascenso y otra para descender de la plataforma superior. La dificultad radica en que los helicoides no son cilíndricos ni cónicos, sino que se proyectan sobre un elipsoide generando un espacio mejor controlado visualmente.

### Superficies

En arquitectura e ingeniería la configuración de las superficies como regladas tiene un gran recorrido histórico. Además de los cilindros rectos, de los que nos hemos ocupado, ligados fundamentalmente a sus curvas de intersección, encontramos los capitalzados, conoides, cilindroides, helicoides, etc. En ellos el estudiante debe conocer la forma en la que las curvas que ejercen como directriz se conectan, creando superficies radicalmente diferentes en función de si responden a la relación con un eje, un plano director, un vértice, etc.

arco no sólo nos permite explicar estas posibilidades asociadas a la parábola, sino que es una oportunidad para reflexionar sobre la complejidad del problema estructural que representa y sobre la magnitud de la audaz solución.

La consideración de las curvas en el espacio nos ofrece, entre otros, el caso de la hélice. Una curva asociada a interesantes construcciones, entre las que podemos destacar desde el minarete de la Gran mezquita de Samarra (850), hasta el Museo Solomon R. Guggenheim de Nueva York (1959) de Frank Lloyd Wright.

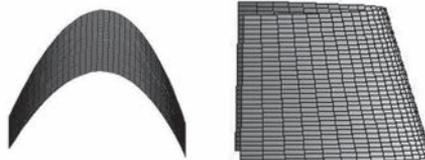
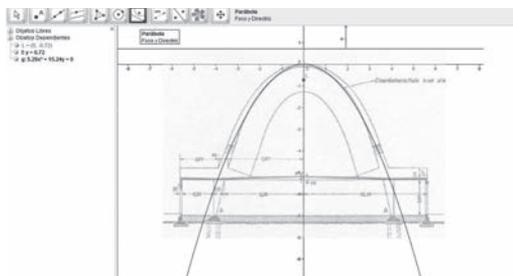


Figura 04. Robert Maillart, 1939, *Pabellón Cemenhalle*, Zúrich, Suiza. Superficie desarrollada a partir de una parametrización del modelo.

En 1939 Robert Maillart construyó un pabellón que hizo las funciones de Hall principal en la Exposición Nacional de Zúrich, como propaganda del Cemento Portland. Una lámina de 6 cm. de hormigón gunitado. Al final de la feria la estructura fue puesta a prueba hasta su rotura y desapareció. En este caso las láminas se encuentran limitadas por curvas parabólicas distintas y podemos comprobar que las superficies regladas tienen interesantes matices en función de la forma en que se generan.



Figura 05. Robert Maillart, 1939, Pabellón *Cementhalle*, Zúrich, Suiza.

El uso de superficies regladas en la construcción, aprovecha la ventaja que aporta el replanteo y puesta en obra apoyándose en líneas rectas. Sin embargo existen muchas otras obras que utilizan otras superficies alabeadas que no tienen esas posibilidades. Superficies que se entienden como redes de curvas en diferentes planos. Tal es el caso de la Iglesia de la Atlántida, en la parroquia de Cristo Obrero, Montevideo (1952), de Eladio Dieste. Aquí podemos observar las llamadas Bóvedas Gausas. Sobre una planta rectangular los muros y la cubierta se ondulan, las sinuosas estructuras de Dieste utilizan curvas sinusoidales provocando que las secciones transversales de la bóveda adopten forma de catenaria y de esa manera todos los elementos resistentes se encuentran comprimidos. Utiliza la cerámica estructural (Mas Guindal, Adell 2005), armando la fábrica en dos direcciones, aprovechando las juntas entre ladrillos para introducir los alambres. Los empujes horizontales de las bóvedas se equilibran con tirantes insertos en la propia superficie de cerramiento.

El análisis geométrico de esta obra está muy relacionado con las curvas de su planta y su sección en primer lugar y con las superficies que se generan en combinación de ambas. Tampoco nos es ajena la distribución de los refuerzos metálicos, aunque nuestro análisis no es estructural, pero la geometría ejerce ese radical nexo de unión entre formas y fuerzas que presenta este tipo de obras.

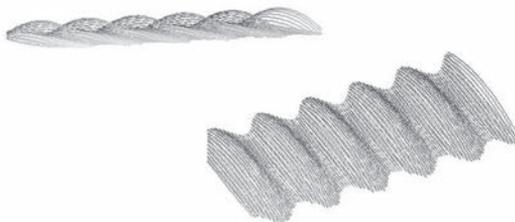
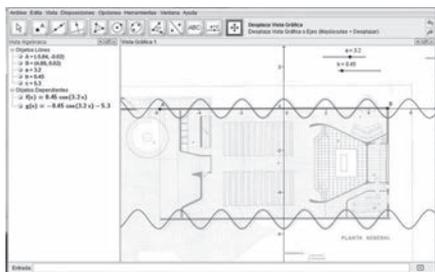


Figura 06. Eladio Dieste, 1952, Iglesia de la Parroquia de Cristo Obrero, La Atlántida, Montevideo, Uruguay. Superficie construida a partir de una parametrización del modelo.



Figura 07. Eladio Dieste, 1952, Iglesia de la Parroquia de Cristo Obrero, La Atlántida, Montevideo, Uruguay.

Uno de los ejemplos más complejos que hemos trabajado en estos años es la tribuna del Hipódromo de la Zarzuela, de Eduardo Torroja. En ella se materializa sobre una misma sección una composición de diferentes superficies en equilibrio. Las bóvedas cilíndricas y tóricas de las salas inferiores se contraponen a las bóvedas de lóbulos “sensiblemente hiperbólicos” de la cubierta en voladizo (Chías Navarro 2005). Eduardo Torroja proyecta su obra obedeciendo las leyes de la estática, modela las estructuras según las fuerzas en

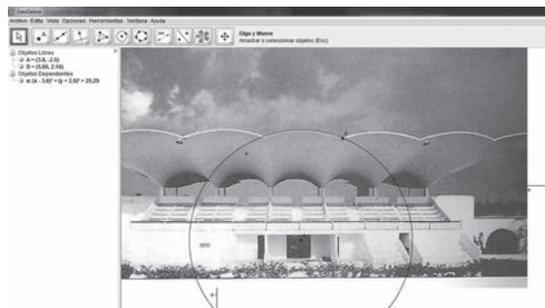


Figura 08. Eduardo Torroja, 1935, Tribuna del Hipódromo de la Zarzuela, Madrid. Superficie construida a partir de una parametrización del modelo.

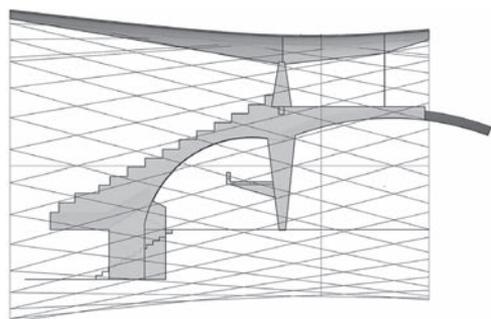
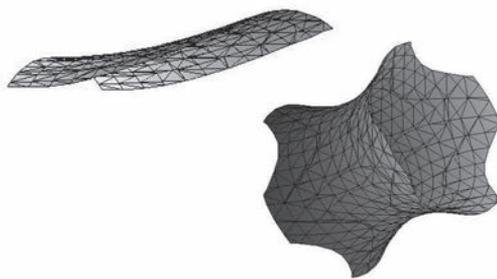


Figura 09. Eduardo Torroja, 1935, Tribuna del Hipódromo de la Zarzuela, Madrid. Hipótesis de hiperboloide asociado a la cara superior de la lámina.

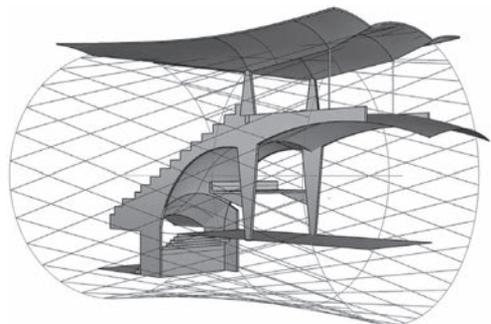


Figura 10. Eduardo Torroja, 1935, Tribuna del Hipódromo de la Zarzuela, Madrid.

el espacio y lo logra siempre tras una investigación minuciosa y estricta de las alternativas, con un claro conocimiento intelectual de los problemas asociados a cada ámbito (García Reig 1999a).

La figura de este ingeniero y empresario, hijo de matemático, representa la posibilidad y la necesidad de armonizar investigación y construcción (Andrade Perdrix

1999), encarnado así una máxima dentro de la asignatura, esto es, su carácter mixto, que aúna teoría matemática y construcción gráfica. A medida que avanzamos en el análisis de dichas estructuras surgen muchas otras. Nuevas oportunidades para explorar configuraciones innovadoras desde su geometría, comprobando lo importante que resulta su conocimiento para proyectarlas, construir las y valorarlas.

### Conclusiones

La experiencia desarrollada alcanza ya su quinta edición. A lo largo de estos años hemos realizado una notable cantidad de análisis de obras similares a las aquí citadas, poniendo a disposición del estudiante un amplio archivo de casos. Las obras estudiadas se han centrado en operaciones con figuras abstractas y transformaciones formales de las mismas que son utilizadas en las configuraciones de multitud de estructuras de arquitectura e ingeniería.

La estrategia de aprendizaje basado en problemas ha otorgado al estudiante instrumentos para el análisis geométrico. La gestión de los mismos y el nivel de definición se han ido flexibilizando acorde con las necesidades de los ejercicios propuestos. En ese contexto los profesores hemos dado margen de libertad a los estudiantes para crear su propio proyecto geométrico, en el que pueden programar su itinerario de aprendizaje, con apoyo de los docentes y tomando como base la metodología expuesta.

La experiencia de estos cursos nos ha conducido a centrar los esfuerzos en la realización de un correcto análisis, acotando los márgenes de acción y trabajando con unos objetivos concretos. Para ello la información a introducir en el modelo debe ser la estrictamente

necesaria, para hacer inteligible su geometría, sin entrar en consideraciones de materialidad foto realista, que según la propia experiencia, ha supuesto más una distracción que una profundización en los modelos en los que se ha llevado a cabo.

El efecto a medio y largo plazo que la asignatura produce sobre el colectivo estudiantil y docente de la Escuela está ya dando sus frutos, en espacios como el Fin de Grado y Máster en los que se han multiplicado en los últimos años la presencia de estructuras de geometría compleja y elementos parametrizados.

## Referencias bibliográficas

AGUDO, M.J. 2010. "La evaluación de asignaturas gráficas en el ABP", *XIII Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica* Valencia, 2010, pp. 225.

ANDRADE PERDRIX, C. 1999. Centenario de Eduardo Torroja (Ciencia, tecnología y empresa). *Informes de la Construcción*, 51(462), pp. 5-6, 7, 8.

CASTAÑO PEREA, E., DE MIGUEL SÁNCHEZ, M. & LASTRA SEDANO, A. 2014. Specific and generic skills in architectural geometry teaching: Review and new developments. *International Journal of Scientific Research*, 3(11), pp. 314.

CASTAÑO, E., BLANCO, A. & ASENSIO, E. 2012. "Competencias para la tutoría: experiencia de formación con profesores universitarios", *Revista de docencia universitaria*, vol. 10, pp. 193.

CHÍAS NAVARRO, P. 2005. *Eduardo Torroja obras y proyectos*. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

COLOMA, E. & MESA, A. 2012. La Representación Paramétrica y los Procesos no Lineales. *Revista EGA*, 19, pp. 200.

GARCÍA REIG, C. 1999a. La geometría en la obra de Eduardo Torroja. *Revista de Obras Públicas*, 3393, pp. 15.

GARCÍA REIG, C. 1999b. La infografía en arquitectura: el modelado tridimensional de la obra de Eduardo Torroja. *Informes de la Construcción*, 51(466), pp. 57.

GRASSA-MIRANDA, V. & GIMÉNEZ, R. 2010. Aproximación al análisis del sistema diédrico español como lenguaje. *Revista EGA*, 15, pp. 156.

HEYMAN, J. 1999. *El esqueleto de piedra: mecánica de la arquitectura de fábrica*. Madrid: Cehopu/Instituto Juan de Herrera.

LLORENTE ZURDO, M.P., DE MIGUEL SÁNCHEZ, M. & ANAYA DÍAZ, J. 2012. An approach to patents of prestressed concrete in 20<sup>th</sup> Century's architecture, *ICSA2013 Second International Conference. Structures and Architecture*, 2013 2012.

MAS GUINDAL, A. & ADELL, J.M. 2005. Eladio Dieste y la cerámica estructural en Uruguay. *Informes de la Construcción*, 56(496), pp. 13.

POTTMANN, H., ASPERL, A., HOFER, M. & KILIAN, A. 2007. *Architectural geometry*. Exton, Pennsylvania: Bentley Institute Press.

TORROJA, E. 2000. *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

VIAMONTE, P. & PEINADO, Z. 2014. Arquitecturas efímeras con herramientas paramétricas. *Revista EGA*, 23, pp. 114.

## Autores

**Alberto Lastra Sedano.** Es licenciado en Matemáticas y doctor en Matemáticas por la Universidad de Valladolid. Su campo de investigación está centrado en el Análisis Funcional y el Análisis Complejo, principalmente en el estudio de sumabilidad de soluciones formales de ecuaciones y en el estudio de propiedades asintóticas funcionales. Tras su estancia posdoctoral de un año de duración en la Universidad de Lille 1, en Francia, se incorporó como profesor en la Universidad de Alcalá en 2011, compaginando su labor docente e investigadora con diversas estancias de investigación en las universidades antes mencionadas y en la Universidad de La Rochelle, Francia. [alberto.lastra@uah.es](mailto:alberto.lastra@uah.es)

**Manuel de Miguel Sánchez.** Arquitecto por la Universidad Politécnica de Madrid (1996) y profesor asociado de la Universidad de Alcalá (desde 2004). Investiga sobre arquitectura contemporánea, sostenibilidad y patrimonio arquitectónico moderno. Su tesis doctoral (2014), "Veinte años de Bienales españolas de arquitectura y urbanismo" es un análisis del panorama arquitectónico nacional visto a través de los premios de arquitectura. Es autor de numerosos artículos en medios de impacto y ponencias internacionales. [manuel.miguel@uah.es](mailto:manuel.miguel@uah.es)

**Enrique Castaño Perea.** Doctor arquitecto por la Universidad Politécnica de Madrid (2007) y MBA por la Universidad Europea de Madrid. Profesor de universidad desde 2003, dedicándose a la docencia del dibujo y de proyectos arquitectónicos. Siendo actualmente profesor titular del Departamento de Arquitectura en la Universidad de Alcalá. Investiga y trabaja sobre la imagen como herramienta para la arquitectura, abarcando el dibujo arquitectónico en su perspectiva histórica y docente desde el Renacimiento hasta nuestros días, y la imagen como recurso aplicada en el campo de la arquitectura tanto para el diagnóstico de deficiencias en la edificación como en trabajos de realidad aumentada aplicado a la arqueología. [enrique.castano@uah.es](mailto:enrique.castano@uah.es)

**Ernesto Echeverría Valiente.** Arquitecto por la ETSAM desde 1990 y Doctor Arquitecto desde 2005, obteniendo la mención Cum Laude por su tesis "El campus universitario de Alcalá de Henares: análisis y evolución". Profesor Contratado Doctor en el área de Expresión Gráfica Arquitectónica desde 2008. Actualmente es Director del Departamento de Arquitectura de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Alcalá. Investigador principal del Grupo de la UAH en el Proyecto de Investigación "Sistema Integrado para optimización energética y reducción de la huella de CO2 en edificios: Tecnologías BIM, Indoor mapping, UAV y herramientas de simulación energética". [ernesto.echeverria@uah.es](mailto:ernesto.echeverria@uah.es)