

Innovación Didáctica en la enseñanza de las Matemáticas en la titulación de arquitecto mediante el uso de las TIC

Miguel  ngel Fortes Escalona

María Luisa Márquez García

Universidad de Granada

Introducción

La actividad del Arquitecto abarca los aspectos relacionados con el estudio, análisis, proyecto y ejecución de obras de edificación. Así pues, su formación universitaria se orienta a la cualificación de un técnico con competencias en la dirección y ejecución de obras, en los aspectos de la realización de proyectos, en los aspectos económicos de la construcción, en las estructuras e instalaciones de edificación, y en la coordinación de los procesos de los diferentes sistemas constructivos.

Matemáticas y Arquitectura poseen una larga historia conjunta que se remonta a los orígenes del hombre y evoluciona con él. La Geometría ha aportado los métodos de representación y ha sido una fuente de formas y de metodología científica con las que plantear numerosos problemas suscitados por la creación arquitectónica.

Por otra parte, el papel de las Matemáticas en las carreras técnicas ha sido y sigue siendo motivo de discusión en lo que respecta a enfoque, contenidos y métodos didácticos, razón por la cual continuamos sin tener una respuesta definitiva a la pregunta  qu  matemáticas deben enseñarse, y de qué modo, a los futuros técnicos universitarios?

El rol clásico de la educación matemática en los estudios de Arquitectura ha sido la transmisión de métodos y resultados matemáticos al servicio de aspectos cuantitativos y procedimentales relacionados con temas técnicos. El uso de las Matemáticas como materia de selección de estudiantes, o el carácter abstracto de su impartición, ha provocado a menudo la presencia discutida de esta disciplina en las Escuelas de Arquitectura. Entendemos que enseñar Matemáticas en la titulación de Arquitectura no debe ser únicamente transmitir fórmulas, resultados o técnicas, sino también formar a los estudiantes en un desarrollo creativo de sus capacidades y en un uso inteligente de estrategias matemáticas ante problemas de Arquitectura.

Las principales dificultades que nos encontramos en la docencia de las Matemáticas en la Arquitectura son:

- En primer lugar, la propia naturaleza de las Matemáticas como forma de pensamiento, ya que requiere un considerable grado de abstracción. Las Matemáticas conforman una disciplina que, demasiado a menudo, resulta compleja para nuestros alumnos, dado que posee un lenguaje específico muy preciso, y por tanto complicado.

- Una segunda dificultad es el poco tiempo que tenemos asignado a las asignaturas de Matemáticas, así como el elevado número de alumnos matriculados por grupo. Como indicación señalaremos que el número de alumnos por grupo en la asignatura FMA oscila entre los 120 y 140 alumnos.

La asignatura FMA tiene un programa muy extenso (sus descriptores son, según consta en BOE: álgebra, geometría, análisis matemático, cálculo numérico y estadística) y una carga docente de 10.5 créditos (teóricos y prácticos). Por tanto, hay poco tiempo para la exposición de todos los contenidos, para la comprensión de los mismos y, sobre todo, para analizar sus aplicaciones en la Arquitectura. Después de varios años de experiencia, los profesores que impartimos dicha asignatura nos planteamos la forma de optimizar el tiempo del que disponemos utilizando las nuevas tecnologías. En este sentido, en el curso 2004-2005 se puso a disposición de los alumnos una página web sencilla, en la que podían encontrar información relativa a la asignatura, y a través de ella los alumnos podían estar en contacto con los profesores para cualquier consulta. La buena acogida de la misma nos animó a pensar en un proyecto más ambicioso, lo que nos llevó a solicitar el Proyecto de Innovación Docente y que hemos desarrollado en todos sus puntos en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Granada.

Marco teórico y objetivos

La actividad esencialmente propia de la Arquitectura es la ordenación del espacio en su más amplia expresión. La ordenación espacial se inicia con la fase creadora-proyectual en base a unos condicionantes y necesidades que determinan un programa, y culmina con la fase de materialización de la obra arquitectónica. Este paso de la idea a la obra construida precisa de unos conocimientos que permitan que el proceso pueda a cabo de una manera racional.

La asignatura FMA figura como materia troncal en el primer curso de Arquitectura, y por tanto lo primero que analizamos es el carácter básico de la misma en la formación de los futuros Arquitectos así como su situación en el contexto de la titulación y la interrelación de la misma con el resto de las asignaturas del Plan de Estudios vigente. En este sentido, queremos destacar que la asignatura FMA es necesaria para el estudio de las asignaturas del primer curso y es básica para el análisis y comprensión de una gran cantidad de asignaturas de la titulación, que analizamos a continuación:

- El estudio de las *matrices, determinantes, sistemas de ecuaciones y diagonalización* tienen gran importancia en el estudio del *Cálculo Matricial de Estructuras, Materiales de Construcción y Construcción, Cálculo Numérico, etc.*
- El concepto de *espacio vectorial* es una pieza básica en el ensamblaje del desarrollo teórico del *Álgebra*, y es ineludible su utilización si nos adentramos en distintas parcelas de aplicación del *Álgebra Lineal: Física* (por ejemplo, tanto la fuerza como la velocidad son magnitudes vectoriales), *Cálculo Numérico* (en teoría de interpolación o modelado de curvas, los aproximantes son elementos de espacios vectoriales).
- Las *aplicaciones lineales* son de especial importancia para un alumno de Arquitectura, ya que algo tan teórico como el concepto de aplicación lo utiliza en *Dibujo*, cuando copia un trabajo establece una aplicación del plano al plano, y cuando su trabajo lo realiza en el espacio tridimensional, realiza una aplicación del plano al espacio.
- Las *transformaciones geométricas* tienen una gran relevancia en *Diseño Asistido por ordenador y Geometría Descriptiva*.
- El diseño de cualquier elemento arquitectónico y el estudio de la ubicación de su realidad física es uno de los grandes objetivos que se persiguen en la formación de un Arquitecto. Obviamente, el hecho de llevarlos a cabo requiere, entre otras cosas, conocer el tratamiento

matemático del espacio físico. Este tratamiento es el que analizamos con el estudio de los *espacios afin y afin euclideo*. Es conveniente resaltar que en el estudio que hacemos (básico para la formación del Arquitecto) se requiere el uso del concepto de espacio vectorial. Este estudio es de gran interés en la asignatura de *Geometría Descriptiva*.

- Del estudio de las *c nicas* y las *cuádricas* se derivan aplicaciones prácticas que abarcan diversos problemas de arquitectura del diseño: construcción de formas con capacidad máxima o mínima, en las que el estudio de formas cuadráticas es fundamental, o construcción de antenas parabólicas, basadas en ciertas propiedades reflectoras de un tipo singular de c nicas como son las parábolas, entre otros. Son estos temas de gran interés en las asignaturas *Proyectos, Geometría descriptiva, Diseño Asistido por Ordenador, Restauración, Historia de la Arquitectura,...*
- La enorme importancia de la *Ecuaciones Diferenciales* en la Matemática y, especialmente sus aplicaciones a la Arquitectura, se debe principalmente al hecho de que la investigación de muchos de sus problemas puede reducirse a la solución de tales ecuaciones, por ello estudiamos las aplicaciones de las ecuaciones diferenciales en el *Cálculo de Estructuras*.

La experiencia que nos propusimos fue la siguiente: A partir del programa de la asignatura Fundamentos Matemáticos en la Arquitectura del curso 2007-2008, y teniendo en cuenta los resultados académicos de los años anteriores, con carácter general los objetivos que buscamos durante dicho curso académico fueron:

- Identificar los elementos relevantes en la mejora de la calidad docente.
- Hacer de los alumnos agentes dinamizadores de un proceso de mejora colectiva.
- Reflexionar acerca de un modelo educativo válido para la docencia universitaria.
- Mejorar la docencia en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Granada.

Estos objetivos deben ser entendidos interpretando nuestra asignatura dentro de un contexto más amplio que es la docencia en la ETSA.

Hacer de los alumnos agentes dinamizadores de un proceso de mejora colectiva es un objetivo difícil de cuantificar, sin embargo, los profesores que impartimos la docencia de Fundamentos Matemáticos en la Arquitectura hemos llevado a cabo la experiencia con gran satisfacción y pensamos que el objetivo se ha cumplido, ya que, como se describir  posteriormente en este trabajo, a lo largo del curso 2007-2008 ha habido un elevado nivel de participación por parte de los alumnos en el desarrollo de la asignatura.

A nivel más particular, nuestros objetivos pasaban por ligar la asignatura FMA a las nuevas tecnologías para conseguir hacer más cómodo y ágil el aprendizaje de la misma y que los alumnos encontraran toda la información relativa a la asignatura, como son: programa, resúmenes teóricos de los temas, relaciones de ejercicios, prácticas de ordenador, horarios de clases y tutorías, sistema de evaluación, bibliografía, diario de clases, servicio de tutoría virtual, exámenes de otras convocatorias, ficha electrónica, información de interés de la UGR, enlaces de interés, etc...

Más concretamente, ayudados de las nuevas tecnologías quisimos conseguir en los alumnos los siguientes objetivos:

- Habituarlos al lenguaje y al modo de razonar propio de las Matemáticas, lo que les facilitará la comprensión de otras disciplinas.
- Fomentar su capacidad de razonamiento y abstracción.
- Alcanzar destreza en el manejo de algoritmos básicos.
- Proporcionarles técnicas que permitan la manipulación matemática de los datos suministrados por el ejercicio profesional.

- Enseñarlos a elegir la mejor solución entre varias alternativas.
- Proveer al alumno de elementos para intuir soluciones no viables o erróneas.
- Comodidad en el estudio de la asignatura.

En el deseo que todos estos objetivos ayudaran a la mejor comprensión y aprendizaje de la asignatura y como consecuencia, a facilitar la superación de la misma, emprendimos este proyecto.

Método y proceso de investigación

Una vez contextualizada la asignatura en la titulación de Arquitectura, el método utilizado para conseguir nuestros objetivos ha sido:

- *Definición del marco de actuación:*

Contenidos de las clases de teoría, de problemas y de prácticas con ordenador; número de horas dedicadas a cada una de las actividades anteriores; elaboración del programa de la asignatura: elección de los temas, teóricos y prácticos, para conseguir los objetivos propuestos.

- *Creación de la página web de la asignatura:*

Durante varios meses nos reunimos periódicamente los profesores de la asignatura para del elaborar conjuntamente la estructura completa de la página web. El primer objetivo fue diseñar la página de presentación. Quisimos que reuniera simultáneamente tres condiciones: en primer lugar, que tuviera algún tipo de motivo arquitectónico, en tanto que iba a estar destinada a estudiantes de Arquitectura. Por otra parte, también quisimos que tuviera alguna referencia a la matemática, dado que iba a ser una página cargada de material matemático, y fundamentalmente, queríamos que fuera una página atractiva para el alumno. Buscábamos que la página web fuera algo más que un sitio en Internet donde descargar una recopilación de apuntes. Tras varias reuniones de los profesores con un alumno de arquitectura de último curso, encontramos un diseño final en el que pensamos que podían quedar recogidas todas nuestras exigencias. El resultado final puede verse actualmente en www.ugr.es/local/fma. Elegimos poner el símbolo animado de la “pajarita”. Este objeto aparece, por ejemplo, en los baños del Palacio de Comares de la Alhambra y tiene su interés matemático en tanto que representa una figura geométrica que tesela el plano. Es altamente probable que los alumnos de primero de Arquitectura hayan visto en alguna ocasión la pajarita, pero es igualmente probable que no conozcan su tratamiento matemático, como por ejemplo, cómo se obtiene a partir de un triángulo. Es por ello que se ha incluido un pequeño mosaico en la página principal en el que se explica cómo obtener la pajarita, así como otras figuras que también teselan el plano y aparecen en la página web, a partir de un triángulo.

Una vez diseñada la página web principal, procedimos a ir preparando todas las subpáginas con la información básica, como los horarios de clase y tutorías, la bibliografía o el sistema de evaluación. Siguiendo la misma idea que la de la página principal, el resto de subpáginas están igualmente diseñadas con distintos iconos que matemáticamente corresponden a figuras geométricas que teselan el plano, y que pueden encontrarse en distintas salas y patios de la Alhambra. Todos ellos tienen un enlace asociado en el que con una sencilla animación se muestra cuál es su generación a partir de un triángulo. Asimismo, para los alumnos que puedan estar interesados se les ofrece una página de información sobre mosaicos.

El resto de contenidos de cada subpágina, como son los resúmenes-guiones de cada tema, las relaciones de ejercicios y las prácticas con ordenador se fueron elaborando y alojando en la web a medida que se han ido explicando los temas en clase, por lo que la preparación de todo el material para los alumnos no culminó hasta la finalización del curso académico 2007-2008.

- *Definición del sistema de evaluación:*

A comienzos del curso 2007-2008 se hizo una convocatoria pública para que los alumnos que fueran repetidores de la asignatura, y en el curso anterior (2006-2007) hubiesen hecho las

prácticas con ordenador de Fundamentos Matemáticos en la Arquitectura, se presentaron como colaboradores para las clases de prácticas con ordenador. De entre todas las solicitudes, que fueron numerosas, se eligió a los 20 alumnos que, habiendo asistido a las clases de ordenador en el curso anterior, mejor calificación habían obtenido en la parte de prácticas con ordenador. Estos alumnos han estado encargados de colaborar en el desarrollo de las clases de prácticas ayudando a sus compañeros que cursaban la asignatura por primera vez a resolver las distintas dificultades que se le pudieran plantear. Los alumnos monitores han sido también encargados de resolver algunos ejercicios de las prácticas así como de las relaciones de problemas con el fin de ponerlos resueltos en la página web. A medida que ellos iban resolviendo los problemas, los iban a entregando a los profesores de la asignatura, quienes tras las oportunas correcciones, los devolvían a los alumnos monitores para que elaboraran una versión final para colocar en la página web a disposición de sus compañeros. Sabemos que esto ha estimulado a trabajar a todos ellos, y al mismo tiempo, ha permitido añadir más material docente en la web. Además, pensamos que esta idea es especialmente interesante en tanto que los alumnos de Fundamentos Matemáticos han podido aprender distintas formas de resolver un mismo problema, todas ellas propuestas por sus propios compañeros. Asimismo, cuando un alumno ha preguntado por determinada resolución de un problema aparecida en la web, lo que se ha hecho ha sido poner al alumno en contacto con el autor de dicha solución, lo que ha fomentado el trabajo entre compañeros.

La calificación que los alumnos monitores obtienen en la parte de prácticas de la asignatura se hace a partir de la valoración que de su trabajo hacemos los profesores, en la que se toma en consideración su nivel de cumplimiento en las clases de prácticas y su nivel de conocimientos, que puede ser valorado a partir del trabajo que van entregando durante todo el curso.

Los profesores hemos estado muy satisfechos con la labor desarrollada por los monitores. También supone un motivo de satisfacción la acogida que el sistema de monitores ha tenido por parte de la globalidad de los alumnos. Posteriormente expondremos la valoración que de los monitores han hecho los alumnos de la asignatura. Todos los monitores han tenido un elevado nivel de cumplimiento de sus funciones y han trabajado intensamente en la asignatura durante todo el curso. Creemos que esta experiencia ha sido muy positiva y este año también está siendo puesta en práctica.

Resultados y conclusiones

El principal material elaborado ha sido la página web, de cuyo diseño y utilidad estamos bastante satisfechos los miembros del grupo, y según se deduce de los resultados que mostraremos posteriormente, también los alumnos.

La página principal de la web puede ser visitada por cualquier persona, est  o no ligada a la asignatura. También pueden ser visitados sin necesidad de identificación previa todos los contenidos que entendemos no tienen relación directa con los contenidos de la asignatura, como son, por ejemplo, las distintas categorías de enlaces o la breve descripción de los mosaicos.

Uno de los principales objetivos de este trabajo ha sido intentar mejorar los resultados académicos de la asignatura. Con este se realizan varios exámenes a lo largo del curso (eliminarios) además de los programados por el Centro, y se ha dado un nuevo enfoque a la docencia de la asignatura que pasa por el uso de las nuevas tecnologías. Pensamos que estos hechos, junto con la puesta en funcionamiento de la página web, a disposición de los alumnos con una gran cantidad de material docente, han sido causas directas del elevado número de alumnos que este año se ha presentado a la asignatura, y del aumento en el porcentaje de aprobados en las distintas convocatorias del curso académico 2006-2007. Más concretamente, el número de alumnos que se han presentado en el curso 2006-2007 a las distintas convocatorias ha sido el 65%, frente a un 45% que, por ejemplo, se presentó en el curso 2005-2006. Además, queremos resaltar que el porcentaje de alumnos

presentados que superaron la asignatura en 2006-2007 fue del 80%, estando la cifra en los años anteriores en torno al 50%.

Bibliografía

- Alsina, C. y Trilla, E. *Lecciones de Álgebra y Geometría*. Ed. Gustavo-Gili, Barcelona, 1984.
- Blachman, N. *Mathematica (un enfoque práctico)*. Ed. Ariel Informática, 1993.
- Castellano, J., Gámez, D. y Pérez, R. *Cálculo aplicado a las Técnicas (2ª ed.)* Ed. Proyecto Sur, Granada.
- De Burgos, J. *Cálculo infinitesimal en varias variables*, Ed. McGraw-Hill.
- Granero Rodríguez, F. *Álgebra y Geometría Analítica*. Ed. Mc Graw-Hill, 1985.
- Grossman, S. *Álgebra Lineal*. Ed. Mc Graw-Hill, 1997.
- Le Corbusier. *Hacia una Arquitectura*, 2ª edición. Ed. Poseidón. Barcelona, 1978.
- Marsden, J. y Tromba, A. *Cálculo vectorial*. Ed Pearson Prentice Hall 2004.
- Monterde García-Pozuelo, J.L. *Arquitectura y matemáticas: La geometría al servicio del arte: de Gaudí a Gehry*. Universidad de Valencia, ISSN 1133-3987, N°. 2004, 2004, pags. 58-64.
- Ortega Riejos, F. y otros. *Matemáticas para la Investigación en Arquitectura*. Primeras Jornadas de Investigación en Arquitectura y Urbanismo. Sevilla. Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. ISBN: 84-88988-21-4
- Ramírez, V. y otros. *Matemáticas con Mathematica*. Ed. Proyecto Sur, Granada, 1997.
- Zill, D.G. *Ecuaciones Diferenciales con Aplicaciones*. Grupo Editorial Iberoamérica, 2006.