

edmetic

Revista de Educación Mediática y TIC



Modelado paramétrico de edificios en el aula de matemáticas

Parametric modelling of buildings in the mathematics classroom

Raúl Manuel Falcón Ganfornina

Universidad de Sevilla.

rafalgan@us.es

Resumen:

El estudio analítico de curvas y superficies adquiere una importancia significativa en estudios universitarios asociados a Arquitectura y Edificación, si bien suele desarrollarse en el aula de Matemáticas únicamente a nivel teórico. No obstante, cualquier herramienta informática de diseño gráfico que utilice el alumnado a lo largo de su vida académica y profesional a la hora de modelar proyectos arquitectónicos se basa internamente en una computación matemática de todos y cada uno de los elementos que intervienen en el mismo, si bien el usuario no llega a vislumbrar el vínculo existente entre su proyecto y la base matemática en la que se fundamenta. El uso de herramientas informáticas que permitan modelar curvas y superficies a partir

de sus ecuaciones paramétricas se convierte por tanto en un nexo de unión, que se potencia aún más en cuanto se procede a modelar construcciones arquitectónicas reales. En este sentido, el presente artículo muestra cómo, haciendo uso de su conocimiento matemático y de la información disponible en internet, el alumnado de la asignatura de Matemática Aplicada a la Edificación en el Grado de Ingeniería de Edificación de la Universidad de Sevilla ha realizado como experiencia docente el modelado matemático de un conjunto de edificios de estructura no trivial. La mejora del rendimiento académico es también analizada.

Palabras claves:

Uso didáctico del ordenador, geometría, arquitectura, modelado.

Abstract:

The analytical study of curves and surfaces is of significant importance in both Architecture and Building Engineering Degrees, although it is usually taught in the Mathematics classroom only from a theoretical point of view. Nevertheless, although students do not discern the existing link between both fields, any Computer Aided Design system which they use in their academic and professional life to model architectural projects is implicitly based on a mathematical computation of each and every element which takes part in it. The use of software which can model curves and surfaces starting from their parametric equations is therefore an important nexus which can be better exploited when real architectural constructions are considered. In this regard, the current paper shows how, by using their mathematical knowledge and the information available on the internet, the students of Applied Mathematics for Building Construction in the Building Engineering Degree of the University of Seville have developed, within a teaching experience, the mathematical modelling of a set of buildings with a non-trivial structure. The improvement of the academic performance is also analyzed.

Keywords:

Didactic use of computer, geometry, architecture, modelling.

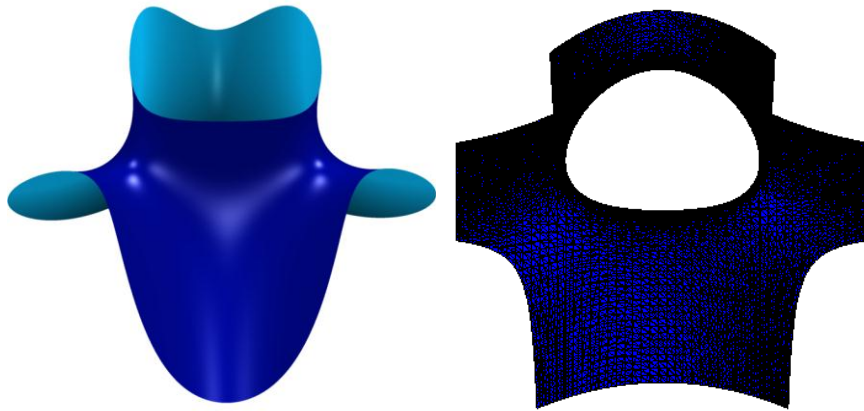
1. INTRODUCCIÓN.

Dentro de las posibles categorías en las que se engloban las distintas aplicaciones TICs que pueden llegar a utilizarse en el aula de Matemáticas se encuentran las herramientas informáticas de diseño y construcción (Rubin, 2000). En esta línea se encuentran los sistemas informáticos de Geometría Dinámica como *Cabri*, *Cinderella* o *GeoGebra*, cuyo uso se está potenciando en los últimos años en todos los niveles educativos. Con ellos se pueden representar de forma dinámica e interactiva objetos geométricos basados en construcciones de regla y compás, pudiéndose modificar sus parámetros en cualquier momento, con la inmediata reconstrucción de todos y cada uno de los elementos asociados a los mismos en la pantalla de trabajo en cuestión. Actualmente, el verdadero potencial de este tipo de herramientas se alcanza al trabajar con geometría en el plano, quedando la geometría espacial relegada hasta un mejor desarrollo de las versiones tridimensionales de dichos sistemas informáticos, que aún están a gran distancia de las herramientas de diseño asistido por ordenador como *AutoCAD*, *ArchiCAD* o *Rhinoceros* (denominadas CAD, siglas derivadas del inglés *Computer Aided Design*), utilizadas sobre todo por el sector de la Ingeniería y la Arquitectura y por el del Diseño Gráfico.

Uno de los aspectos que más interesa a los estudiantes universitarios de Arquitectura y Edificación es el diseño y modelado de edificios y estructuras arquitectónicas (Banerjee y De Graaf, 1996). El uso de herramientas informáticas de diseño asistido por ordenador (denominadas CAD, siglas derivadas del inglés *Computer Aided Design*) les posibilita reconstruir informáticamente hasta el más mínimo detalle de cualquier tipo de vivienda a partir de una interfaz intuitiva que le permite elegir entre una cierta variedad de formas geométricas con las que proceder a diseñar el modelo arquitectónico en cuestión. El interés puede verse acrecentado si se tiene en

cuenta que existen actualmente en la red proyectos cooperativos a nivel internacional tales como *Google Earth* que están promoviendo el uso de CADs por parte de todo tipo de usuarios, no sólo estudiantes o profesionales del sector de la construcción o del diseño gráfico. En particular, gracias a la puesta en común de los modelos diseñados por personas de todo el mundo se está logrando reconstruir virtualmente pueblos y ciudades de nuestro entorno. Cabe indicar que la programación interna de este tipo de herramientas informáticas está basada en una importante computación matemática. Sin embargo, ésta no es mostrada de forma explícita al usuario, quien a la hora de modelar una determinada forma geométrica no tiene más que realizar una serie de operaciones intuitivas con el ratón e introducir a lo más unos ciertos parámetros con ayuda del teclado. Desde el punto de vista de la enseñanza de las Matemáticas en Arquitectura y Edificación es interesante no obstante hacer ver al alumnado el fuerte vínculo que tiene esta disciplina con los programas de diseño gráfico (Falcón, 2011). Basta ver en la red por ejemplo cualquier galería de imágenes elaboradas por el software libre *Surfer* (Instituto Matemático de Oberwolfach, 2008), el cual representa tridimensionalmente con alta resolución cualquier superficie asociada a una determinada ecuación implícita en tres variables (x, y, z), siendo de hecho precisamente dicha calidad de imagen una de las características que lo distingue de otros programas matemáticos (Fig. 1).

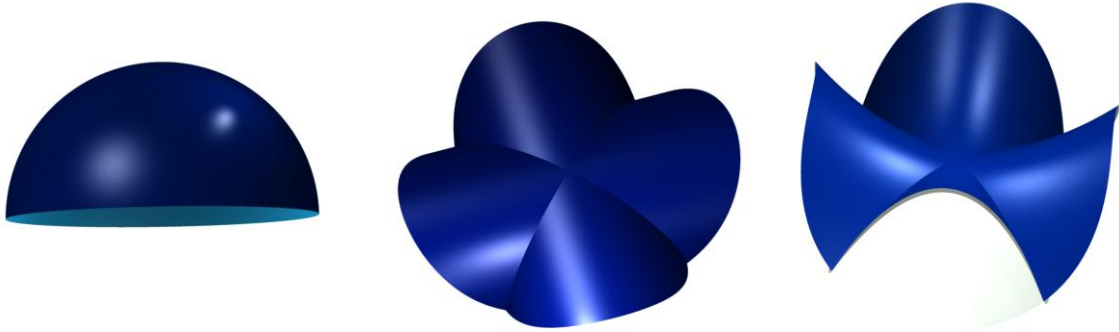
Figura 1: Superficies diseñadas con *Surfer* y *Maple* basadas en $x + y^2z - xz = 2$.



Fuente: Elaboración propia.

El uso didáctico de *Surfer* se está potenciando de hecho en la exposición itinerante *Imaginary*, creada originalmente con motivo del Año de las Matemáticas en Alemania (2008) y actualmente en gira por distintas ciudades españolas con motivo del centenario de la *Real Sociedad Matemática Española*. Desde el punto de vista arquitectónico, la galería interna con la que cuenta, englobando todas las superficies elementales junto a sus respectivas ecuaciones implícitas, permite al alumnado iniciarse en el modelado matemático de cúpulas y bóvedas (Fig. 2).

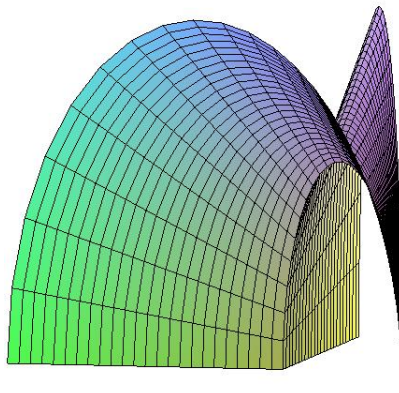
Figura 2: Cúpula semiesférica [$x^2 + y^2 + z^2 = 1; z > 0$] y bóvedas de arista [$(x^2 + z^2 - 1) \cdot (y^2 + z^2 - 1) = 0$] y de paraboloides hiperbólicos [$(x^2 - y^2 - z) \cdot (y^2 - x^2 - z) = 0$].



Fuente: Elaboración propia.

No obstante, la incorporación de un mayor número de elementos estructurales requiere usar ecuaciones paramétricas con las que no trabaja *Surfer*, pero sí otros programas matemáticos como *Maple*, *Mathematica* o *Maxima*. Con ellos pueden controlarse todas las medidas que sean necesarias en el modelo, al mismo tiempo que puede ajustarse de manera exacta la unión de las distintas superficies que intervienen en el mismo (Fig. 3).

Figura 3: Detalle de la bóveda superior del Auditorio de Santa Cruz de Tenerife, como intersección de dos conos dentro de una sección poliédrica.



Fuente: Elaboración propia.

Hay que tener en cuenta que la belleza de toda construcción arquitectónica se basa fundamentalmente en la armonía de su forma geométrica, que debe ser acorde al mismo tiempo con la funcionalidad de la estructura en sí. En este sentido, la arquitectura tradicional presenta siempre diseños que obedecen reglas matemáticas que simulan proporciones naturales, en una búsqueda de unas normas de equilibrio y simetría asociados a ciertos principios estéticos (von Mies, 1991; Salingaros, 1999; Alsina, 2005). Sin embargo, a la hora de modelar construcciones arquitectónicas desde el punto de vista matemático conviene dirigir la atención a la arquitectura moderna, la cual se caracteriza por incorporar complejos sistemas estructurales para cuyo diseño se requiere de hecho del uso de herramientas CADs (Freiberger, 2007). Además, al tradicional carácter artístico se ha añadido en los últimos años la necesidad de realizar construcciones sostenibles que permitan optimizar los recursos de edificación, minimizar el impacto ambiental y aprovechar las condiciones naturales del entorno de emplazamiento. La complejidad de cumplir con todos estos requisitos es tal que cualquier estructura arquitectónica que satisfaga los mismos adquiere una importante presencia en los medios de información, promovida además por el hecho de que este tipo de construcciones están vinculadas a arquitectos de reconocido prestigio. Así, por ejemplo, es destacable la presencia en la red de fotografías e información de edificios sostenibles ya construidos o en proyecto, como pueden ser el *Centro de ocio Khan Shatir* en Astana, la cúpula del *Reichstag* en Berlín, el *Ayuntamiento* y el *Edificio Guerin* en Londres o la *Isla de Cristal* en Moscú, todos ellos diseñados por Foster. Otras construcciones a destacar son la *Aguja de Chicago* y el *Museo del Mañana* en Río de Janeiro (ambos de Calatrava), la *Torre Mayor* en Ciudad de México (de Reichmann), las oficinas administrativas de *Expodach* en Hannover (de Herzog) o la *Torre Shanghai* (de Gensler). Desde un punto de vista geométrico, merecen citarse también

aquellas construcciones arquitectónicas que destacan por la aplicación artística y funcional de superficies no usadas tradicionalmente. Así tenemos por ejemplo construcciones en forma de *hiperboloïdes de una hoja* como la *Torre de Shújov* en Moscú, la *Sagrada Familia* de Gaudí en Barcelona, la *Catedral* de Niemeyer en Brasilia o el depósito de agua de Torroja en Fedala. Estructuras en forma de *paraboloïdes hiperbólicos* son el *Restaurante Los Manantiales* de Candela en Ciudad de México, las cubiertas de la *Villa Olímpica* de Behmisch y Otto en Munich, el *Palacio de Justicia* de Rogers en Amberes o el *Oceanogràphic* de Candela en Valencia.

Cualquier construcción arquitectónica similar a las citadas merece pues ser tratada desde un punto de vista matemático en el aula. El presente artículo muestra la experiencia docente que lleva desarrollándose en este sentido desde el Curso Académico 2009-2010, dentro de la asignatura *Matemática Aplicada a la Edificación II* del Grado de Ingeniería de la Edificación de la Universidad de Sevilla. La actividad consiste en modelar matemáticamente una serie de edificios haciendo uso exclusivo de ecuaciones paramétricas que posteriormente son introducidas en el software *Maple V Release 5.1* para realizar el diseño de los mismos. Si bien cada estudiante desarrolla su propio modelo, el trabajo se realiza de forma cooperativa, siendo supervisado en cada momento por el profesorado y permitiéndose la puesta en común y el trabajo colectivo para el modelado de superficies comunes a los distintos edificios.

Si bien al comienzo de la experiencia, el propio alumnado suele ser reacio a embarcarse en el proyecto, dada la dificultad del mismo, hay que decir que el resultado final es de gran calidad, lográndose una motivación creciente de los estudiantes a medida que los modelos van tomando forma. Además, el hecho de trabajar de forma continuada con las ecuaciones paramétricas de curvas y superficies conlleva a una mejora de los resultados académicos del

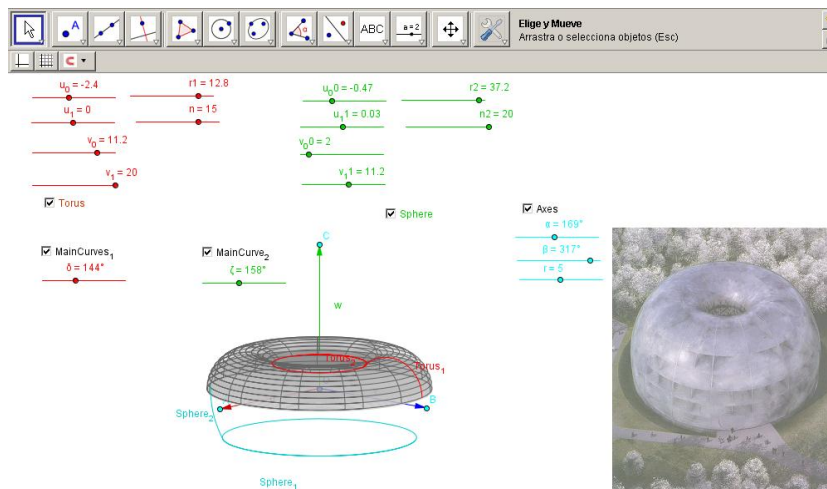
correspondiente bloque temático, en comparación con cursos académicos anteriores y con grupos que no realizan dicha actividad.

2. MATERIALES Y MÉTODO

La asignatura de *Matemática Aplicada a la Edificación II* (6 créditos ECTS) del Grado de Ingeniería de Edificación en la Universidad de Sevilla se imparte durante el segundo cuatrimestre del primer curso de la titulación y en ella se trabajan los bloques temáticos de cálculo de derivadas e integrales, dedicando una primera parte (1,2 créditos ECTS) al estudio de curvas y superficies. En el programa de la asignatura se establece que el 25 por ciento de las clases presenciales se llevan a cabo con subgrupos reducidos (tres desdobles de unos 25 alumnos cada uno) haciendo uso del ordenador. En concreto, en dichas clases prácticas de informática se enseña al alumnado a utilizar el software *Maple V Release 5.1* con vistas a su uso y aplicación en cálculo, siguiendo una línea de actuación ya iniciada con anterioridad en la asignatura *Fundamentos Matemáticos de la Arquitectura Técnica* del anterior plan de estudios (Arriola, Barrena et al., 2010). Cabe indicar además que, desde la implementación del Grado en el Curso Académico 2009-2010, la Universidad de Sevilla ha apostado por una política de enseñanza bilingüe, debido a la cual se oferta la posibilidad de cursar la asignatura en inglés en un grupo reducido con un máximo de 30 alumnos). Esta última circunstancia ha favorecido el desarrollo de proyectos de innovación docente dentro de la asignatura, tomando dicho grupo reducido como experimental. En concreto, una de las experiencias docentes que se ha desarrollado desde el primer momento ha sido la incorporación del ordenador en todas las horas presenciales de clase. Esto ha posibilitado abordar ciertos aspectos de la asignatura de una forma más dinámica y activa (Falcón, 2012). En este sentido, ya en el Curso Académico 2009-2010 se planteó la posibilidad de

realizar como actividad el modelado tridimensional de edificios desde el punto de vista matemático. Sin embargo, el software que se utilizó en dicha ocasión fue GeoGebra 3, que es un programa de geometría dinámica diseñado para trabajar únicamente en dos dimensiones, con lo que gran parte del tiempo asociado a dicha actividad se dedicó a convertir dicho programa en uno de tipo CAD que permitiese realizar gráficos tridimensionales a partir de proyecciones ortogonales (Falcón, 2011). Si bien dicho proceso de conversión fue en sí mismo de gran interés didáctico y los diseños se ajustaron a las expectativas (Fig. 4), el modelado de los mismos llegó a ser complejo, debido a que el programa se volvía demasiado lento a la hora de realizar la computación requerida.

Figura 4: Instituto de Medicina Legal del Campo de Justicia de Madrid.



Fuente: Trabajo de clase de José Enrique Pozo Sierra (Curso 2009-2010).

En todo caso, dado el gran interés que suscitó entre el alumnado dicha actividad, se decidió repetir la experiencia en los siguientes cursos académicos. Para ello, se optó por cambiar la herramienta informática a utilizar, de tal forma que no se dedicara tanto tiempo a generar

matemáticamente un entorno tridimensional de trabajo sino que directamente se pudiera comenzar a trabajar con ecuaciones paramétricas en el espacio. En este sentido, se acordó trabajar con *Maple V Release 5.1*, que, siendo una herramienta informática más acorde con la representación tridimensional, es de por sí utilizado por el alumnado a la hora de abordar otros contenidos previos de la asignatura, con lo cual desaparece el obstáculo de tener que aprender a manejar un nuevo programa informático. Se requiere para ello introducir las ecuaciones paramétricas de cada superficie que intervenga en el modelado en cuestión, lo que conlleva un trabajo exhaustivo de análisis de los parámetros asociados. En este sentido y con vistas a poder valorar convenientemente los modelos de la siguiente sección, cabe citar como ejemplo las ecuaciones de las dos superficies cónicas de la Figura 3:

```
plot3d([20-20*v, 10+v*10*cos(u), v*sin(u)], u=0..Pi, v=3/8..-12*1/(10*cos(u)-22));  
plot3d([5+20*v, 10-v*10*cos(u-Pi), -v*sin(u-Pi)], u=0..Pi, v=3/8..-12*1/(10*cos(u)-22));
```

En la práctica, a la hora de modelar matemáticamente un determinado edificio, cada estudiante debe seguir los cinco pasos siguientes:

1. Búsqueda de fotografías propias o en internet de construcciones arquitectónicas cuya estructura esté basada en al menos dos superficies geométricas de distinto tipo.
2. Selección de la construcción a modelar, atendiendo a su posible complejidad a la hora de encontrar las ecuaciones paramétricas de sus superficies estructurales. Para llevar a cabo este paso es necesario concertar una cita con el profesor con vistas a debatir el modelo a desarrollar y fijar unas pautas a la hora de generar el mismo.
3. Obtención de las medidas básicas del edificio en cuestión, bien encontrando información en la red, bien analizando las fotografías encontradas en un programa de geometría dinámica.
4. Modelado paramétrico de cada superficie estructural por separado.

5. Ensamblaje final de las distintas superficies.

Cabe destacar que el alumnado cuenta en todo momento con una acción tutorial por parte del profesorado, al mismo tiempo que se posibilita el trabajo conjunto a la hora de modelar superficies comunes a distintos proyectos arquitectónicos. Para ello se dispone de un foro en la plataforma de enseñanza virtual *WebCT* de la asignatura, en el cual cada alumno puede plantear a sus compañeros las dudas que le surgen acerca de su proyecto, al mismo tiempo que puede subir archivos con superficies ya modeladas, que puedan ser aprovechadas por el resto de la clase.

Por su parte, si bien el resultado final debe estar realizado en *Maple*, los estudiantes tienen libertad para realizar los pasos intermedios de desarrollo en cualquier otro programa informático que le pueda resultar de utilidad, por ejemplo, a la hora de obtener puntos de guía o ecuaciones de rectas y curvas que intervengan en el modelo. En concreto, el alumnado suele optar por utilizar bien *AutoCAD*, por la experiencia que tiene al usar dicho software en otras asignaturas de la titulación, o bien *GeoGebra*, por el uso que suele hacerse de este programa de geometría dinámica en la asignatura *Matemática Aplicada a la Edificación I*, la cual está dedicada al estudio de movimientos en el plano y en el espacio y al análisis de cónicas y cuádricas.

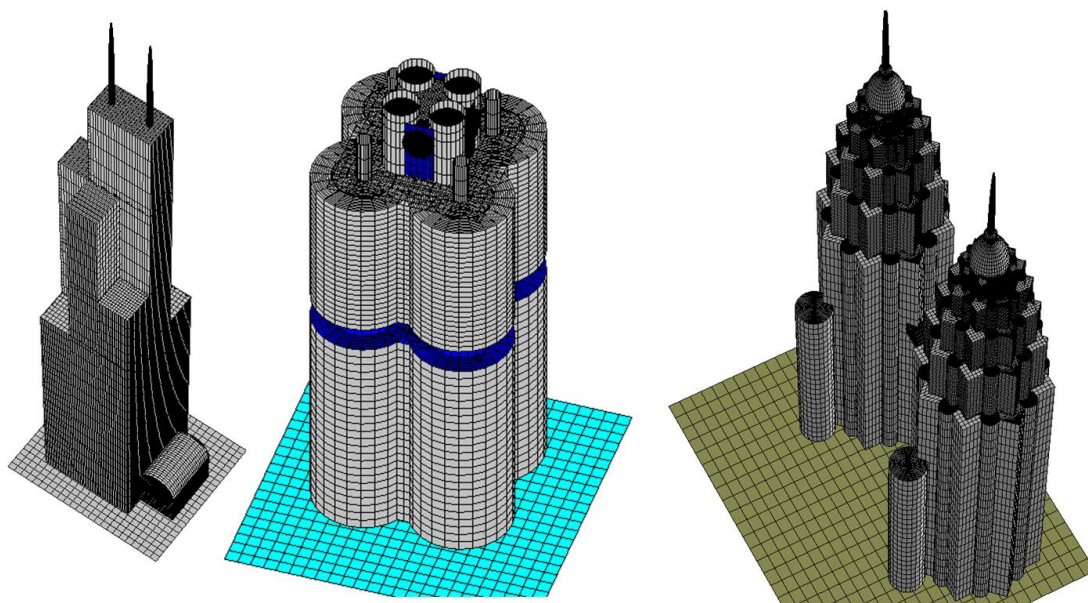
3. RESULTADOS

En la presente sección mostramos algunos de los modelos diseñados por el alumnado. Cabe indicar que las construcciones arquitectónicas que más suelen seleccionar los estudiantes son rascacielos, estructuras inclinadas, palacios, panteones, catedrales y museos, debido a la existencia en todas ellas de elementos estructurales basados en formas geométricas claramente reconocibles. Veamos a continuación algunos ejemplos de cada tipo:

3.1 Rascacielos

Es hasta el momento el tipo de edificio que más ha seleccionado el alumnado a la hora de realizar un modelado matemático, en parte porque suelen estar básicamente formados por la superposición de prismas rectangulares y cilindros. No obstante, se ha intentado siempre elegir rascacielos que presenten elementos estructurales con cierto grado de dificultad, como cúpulas, antenas o módulos a diferentes alturas. Las *Torres Petronas* (Fig. 5, derecha) son un ejemplo en el que intervienen los tres tipos de elementos citados, destacando además la aparición de movimientos como la traslación y la rotación en el espacio.

Figura 5: Torre Sears, Rascacielos BMW y Torres Petronas.

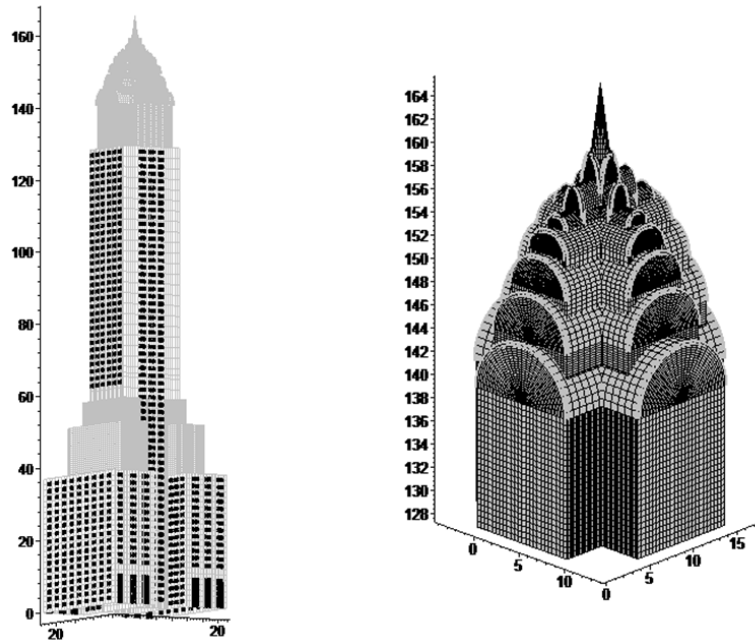


Fuente: Trabajos de clase de *Pedro Morales Cuevas* y *Francisco Naranjo Martell* (Curso 2010-2011).

En todos ellos se combina el uso de superficies regladas en prismas y cilindros, de semiesferas en cúpulas y de paraboloides y conos en antenas. El número

de superficies que intervienen suele ser bastante elevado, destacando en este sentido el modelado realizado del *Edificio Chrysler* (Fig. 6), cuyo alto grado de detalle en puertas, ventanas y cúpula, ha sido posible tras definir ecuaciones paramétricas correspondientes a más de dos mil superficies.

Figura 6: Edificio Chrysler y detalle de su cúpula.



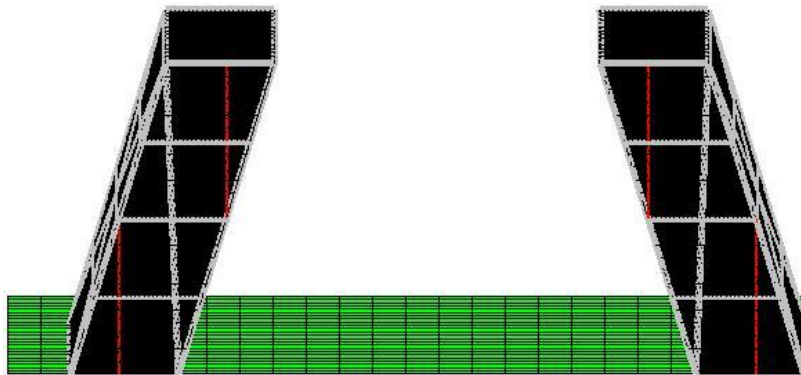
Fuente: Trabajo de clase de *Juan Martínez Segura* (Curso 2010-2011).

3.2 Estructuras inclinadas

Un segundo tipo de construcción que se ha venido modelando es el basado en superficies regladas o cilíndricas cuyas directrices sigan un vector no paralelo a los ejes cartesianos (Fig. 7 y 8). Puede decirse que la construcción de estas superficies entra dentro de los problemas tipo que tradicionalmente aparecen en los exámenes de la asignatura. Si bien la dificultad no es elevada, las estadísticas de resultados académicos no suelen avalar este

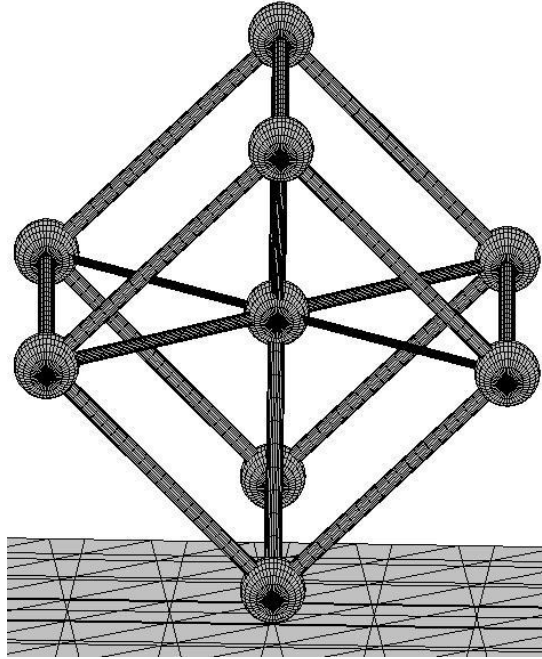
hecho, debido quizás a la falta de visualización por parte del alumnado a la hora de realizar este tipo de construcciones a nivel teórico. En este sentido, cabe destacar que el modelado informático de construcciones arquitectónicas basadas en estas superficies ha captado la atención del alumnado, logrando por primera vez un grado de visualización que es plasmado en los resultados académicos, como veremos en la siguiente sección.

Figura 7: Torres Kio.



Fuente: Trabajo de clase de *Andrés Castillo Crespo* (Curso 2011-2012).

Figura 8: *Atomium*.

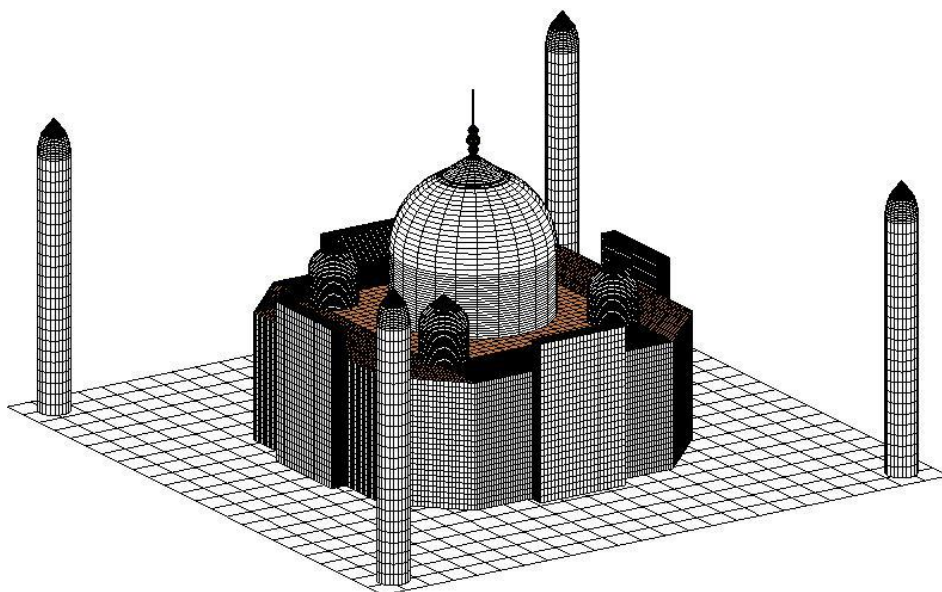


Fuente: Trabajo de clase de *María Díaz de la Torre* (Curso 2011-2012).

3.3 Palacios, panteones y catedrales

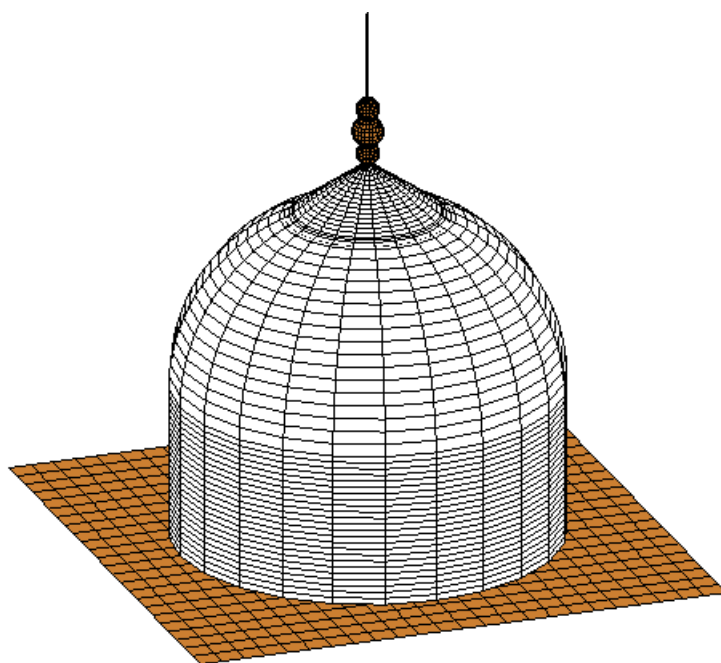
Los elementos estructurales que destacan en estas construcciones arquitectónicas son las cúpulas, las cuales no sólo están compuestas por simples semiesferas, sino que o bien comprenden otros elementos como paraboloides y conos (Fig. 9 y 10) o bien se debe jugar con los intervalos de definición en coordenadas esféricas para lograr efectos como el ojo del *Panteón de Roma* (Fig. 11). En todo caso, no todas las cúpulas siguen el mismo estilo arquitectónico, tal y como puede observarse por ejemplo con la de la *Catedral de Brasilia* (Fig. 12).

Figura 9: *Taj-Mahal.*



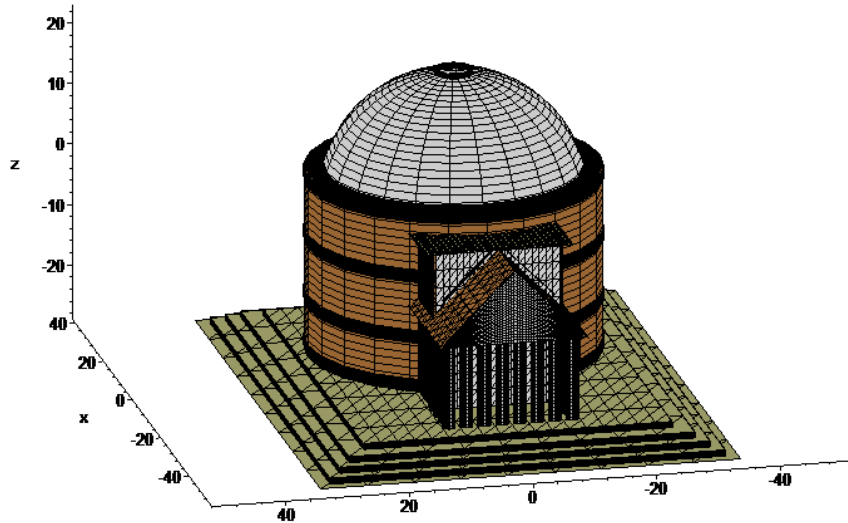
Fuente: Trabajo de clase de María del Rosario Hernández (Curso 2010-2011).

Figura 10: Detalle de la cúpula central del *Taj-Mahal.*



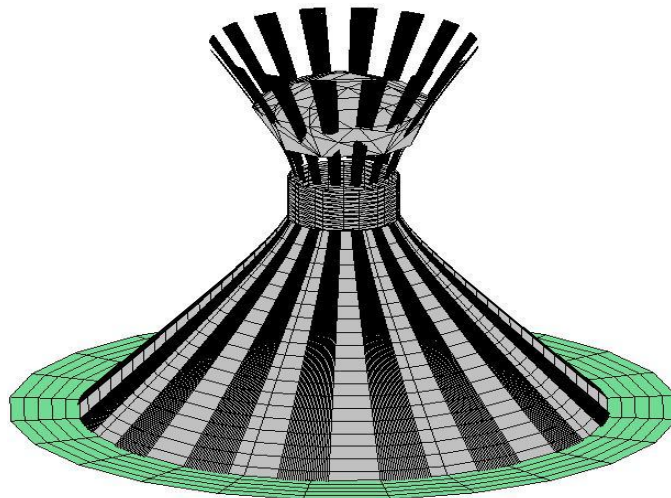
Fuente: Trabajo de clase de María del Rosario Hernández (Curso 2010-2011).

Figura 11: *Panteón de Roma.*



Fuente: Trabajo de clase de Antonio García Palomo (Curso 2010-2011).

Figura 12: *Catedral de Brasilia.*

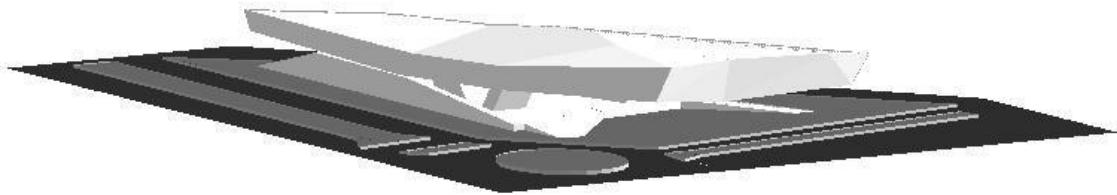


Fuente: Trabajo de clase de Álvaro Rodríguez Martínez (Curso 2011-2012).

3.4 Museos

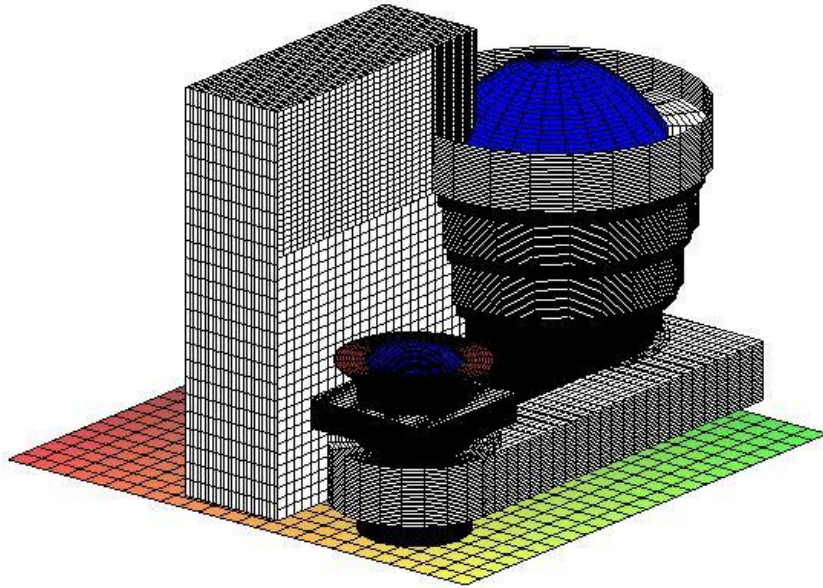
Los museos constituyen una fuente importante de posibles modelados a desarrollar, debido a sus peculiares estructuras, compuestas por lo general de superficies geométricas de muy diversa índole, como el complejo mosaico de planos de distinta inclinación del Museo Porsche (Fig. 13) o la composición de esferas, cilindros y planos del Museo Guggenheim de Nueva York (Fig. 14).

Figura 13: Museo Porsche.



Fuente: Trabajo de clase de *Carlos Palacios Gil* (Curso 2011-2012).

Figura 14: Museo Guggenheim de Nueva York.

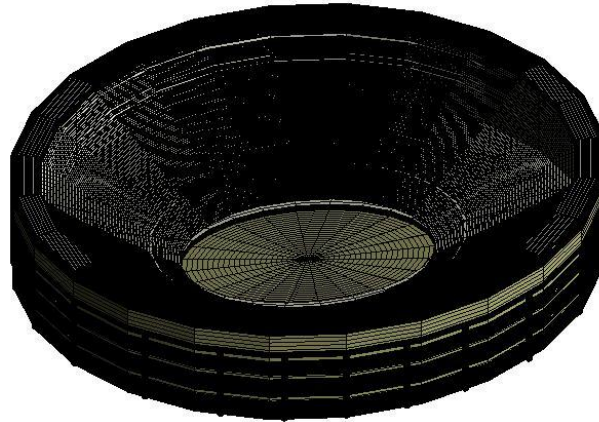


Fuente: Trabajo de clase de Miguel González de Boado Borrero (Curso 2011-2012).

3.5 Otras construcciones arquitectónicas

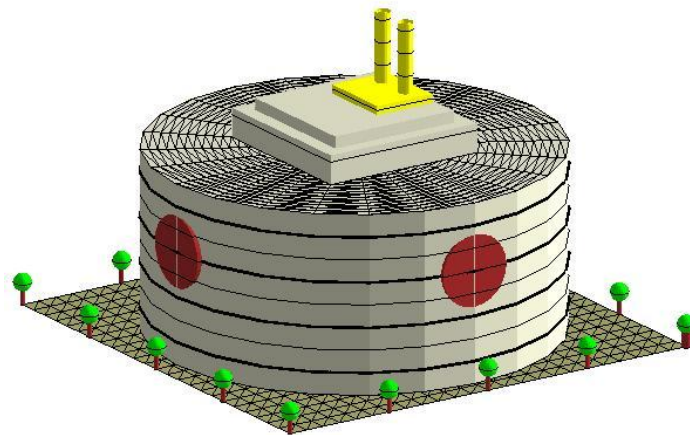
En realidad, tal y como se ha indicado en la Introducción, la gran variedad de edificios factibles de ser modelados desde un punto de vista matemático hace difícil poder englobarlos todos en pocas categorías. Si bien las citadas son las que más influencia han tenido en nuestra experiencia docente, cabe mencionar el modelado de otras construcciones arquitectónicas como son, por ejemplo, el *Coliseo de Roma* (Fig. 15), la *Torre Triana de Sevilla* (Fig. 16) o *L'Hemisfèric de Valencia* (Fig. 17). Como curiosidad y para mostrar la aceptación e interés que ha ido alcanzando esta actividad entre los estudiantes, finalizamos la presente exposición con el modelado que hizo un alumno de la estación espacial de la película *2001: Una odisea en el espacio* (Fig. 18).

Figura 15: Coliseo.



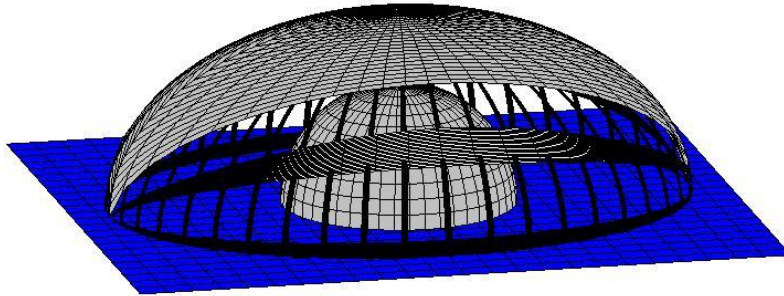
Fuente: Trabajo de clase de *Antonio García Palomo* (Curso 2011-2012).

Figura 16: Torre Triana.



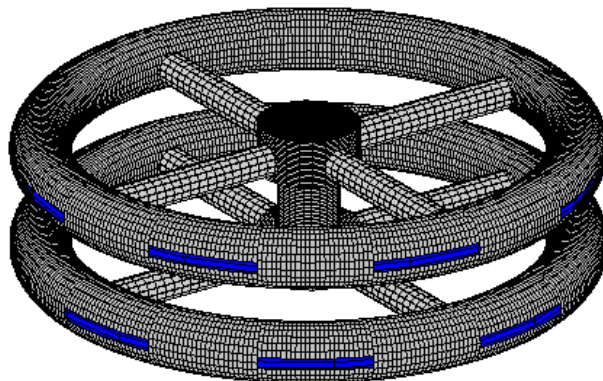
Fuente: Trabajo de clase de *Francisco Naranjo Martell* (Curso 2010-2011).

Figura 17: L'Hemisfèric.



Fuente: Trabajo de clase de Ana Martínez Alvarado (Curso 2010-2011).

Figura 18: Estación espacial de 2001: Una odisea en el espacio.



Fuente: Trabajo de clase de Antonio García Palomo (Curso 2010-2011).

4. DISCUSIÓN

La actividad docente expuesta en las secciones precedentes logra captar la atención de un alumnado que, si bien está predispuesto en sus estudios de Ingeniería de Edificación a trabajar en el modelado de construcciones arquitectónicas haciendo uso de CADs, desconoce en cambio la conexión existente de los mismos con las Matemáticas. En este sentido, los estudiantes se ven gratamente sorprendidos cuando, partiendo únicamente de las ecuaciones que han ido apareciendo en las clases teóricas, van construyendo

ellos mismos las distintas formas geométricas que componen la estructura arquitectónica que han seleccionado previamente. Dicha composición no es automática y requiere modificar con paciencia y de forma exacta los distintos parámetros asociados a cada superficie en cuestión. Como contrapartida a todo este exhaustivo trabajo, el alumnado comprueba con satisfacción que puede llegar a realizar por sí mismo modelos con un alto grado de realismo, tal y como ha quedado reflejado en la segunda sección del presente artículo.

Cabe destacar además una mejora sustancial en el rendimiento académico de aquellos estudiantes que participan en esta experiencia docente. Así, por ejemplo, la Figura 19 muestra las tasas de abandono, rendimiento y éxito de los distintos grupos de la asignatura *Matemática Aplicada a la Edificación II*, durante el Curso Académico 2010-2011, siendo el grupo 11 el grupo experimental en cuestión. En concreto, en comparación con el resto de grupos, puede observarse que tanto la tasa de rendimiento (n° aprobados / n° matriculados) como de éxito (n° aprobados / n° presentados) es superior a la del resto de grupos, llegando esta última a alcanzar el cien por cien de aprobados por presentados. Interesante es además el hecho de que el número de abandonos sea sustancialmente menor que la media, la cual se sitúa a un 53 por ciento. Estos datos certifican que la actividad de modelado matemático contribuye favorablemente tanto al desarrollo de la asignatura como a los resultados académicos de los estudiantes. Este hecho nos anima por tanto a seguir trabajando en esta línea, si bien aún quedan aspectos que pueden ir mejorando en posteriores cursos académicos. Cabe citar por ejemplo una mayor integración de los programas CADs en las clases de Matemáticas, que permitiesen una línea de trabajo común y transversal con otras asignaturas de la titulación. Está pendiente asimismo una integración en la red de los modelos virtuales realizados. Sería interesante, al igual que ocurre por ejemplo con *Google Earth*, poder subir a la red estos modelos de tal forma

que el internauta pueda manipularlos, ya sea visualizándolos en el espacio o modificando los parámetros que determinan los mismos. Para ello será necesario comenzar a trabajar con programas matemáticos que permitan desarrollar por ejemplo *applets* en Java.

Figura 15: Resultados académicos durante el Curso Académico 2010-2011.



Fuente: Elaboración propia.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALSINA I CATALÀ, C. (2005). Los secretos geométricos en diseño y arquitectura (339-352). En M. I. Marrero y J. Rocha, coord.). *Horizontes matemáticos*. La Laguna. Servicio de Publicaciones de la Universidad de la Laguna.

ARRIOLA, R.; BARRENA, E. & otros (2010). Aprendizaje autónomo en Matemáticas Aplicadas a la Edificación: Simbiosis entre WebCT y Software Matemático. *Números*, 74; 45-56.

BANERJEE, H.K. y DE GRAAF, E. (1996). Problem-based learning in Architecture: Problems of integration of technical disciplines. *Eur. J. Eng. Educ.*, 21 (2), 185-196.

FALCÓN, R.M. (2011). Integration of a CAS/DGS as a CAD system in the mathematics curriculum for architecture students. *Int. J. Math. Educ. Sci. Technol.*, 42 (6), 737-750. DOI: 10.1080/0020739X.2011.573871

FALCÓN, R.M. (2012). El ordenador portátil como herramienta de apoyo en el aprendizaje activo de Matemática Aplicada a la Edificación. *Pixel Bit*, 40, 47-60.

FREIBERGER, M. (2007). Perfect buildings: the math of modern architecture. *Plus magazine*, 42. Recuperado de <http://plus.maths.org/content/perfect-buildings-maths-modern-architecture> [Consultado el el 7 de Abril de 2012].

INSTITUTO MATEMÁTICO DE OBERWOLFACH (2008). Exposición Imaginary. Recuperado de <http://www.imaginary-exhibition.com/> [Consultado el 7 de Abril de 2012].

RUBIN, A. (2000). Technology Meets Math Education: Envisioning a Practical Future. *Forum on the Future of Technology in Education*. Recuperado de <http://www.edtechleaders.org/documents/math/Rubin.pdf> [Consultado el el 7 de Abril de 2012].

SALINGAROS, N. A. (1999). Architecture, patterns and Mathematics. *Nexus Network Journal*, 1, 75-85.

VON MEISS, P. (1991). *Elements of Architecture*. London: E&FN Spon.