

## **Introducción**

Desde mi época universitaria como estudiante de arquitectura en Líbano y posteriormente durante el máster en “Arquitecturas Genéticas” en la ESARQ (Escuela Técnica Superior de Arquitectura) en 2002, siempre he tenido una gran admiración hacia la tecnología aplicada a la arquitectura, especialmente la fabricación asistida por ordenador, conocida como CAM. Era inquietante averiguar como se podría llegar a la fabricación de piezas tan complejas como por ejemplo, en el Museo Guggenheim de Bilbao de Frank Gehry, como si se tratara de imprimir en papel planos o secciones a la perfección, una tarea común para una impresora. Desde entonces, he tenido la oportunidad de aprender y ampliar mis conocimientos profesionales en este ámbito a través de la investigación y la aplicación de procesos constructivos asistidos por ordenador en obras, concursos, premios y reconocimientos. Tales hechos me han motivado a profundizar mis nociones en la materia, ocasionándome así a seguir un camino diferente a lo de la arquitectura convencional.

De una gran inquietud personal surge la intención de redactar una tesis que puede ser fundamental en el entendimiento de los principios de la tecnología CAM en la arquitectura como un hecho inédito no redactado anteriormente. En libros que hablan de la tecnología CAM en la era digital de la arquitectura como por ejemplo *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, o *Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Applications in Architecture and Design*, no se habla de la historia detallada de tal primicia aplicada a la arquitectura.

Casi seis años de trabajo entre consultorías para despachos conocidos por su complicidad con el ámbito digital como dECOi architect(e)s y Zaha Haddid, y cursos universitarios de pre-grado y master sobre las aplicaciones de la tecnología a la arquitectura, hasta llegar a colaborar en la construcción de obras como el templo de la Sagrada Familia, han motivado todavía más esta inquietud que me llevaba a

preguntar como la fabricación asistida por ordenador había empezado, obligándome a volver en la historia y a buscar la esencia del uso del CAM en la era digital.

Las primeras oportunidades reales para poder investigar y experimentar conceptos y estrategias vinculados a la tecnología CAM han sido posibles durante el máster en “Arquitecturas Genéticas”, oficialmente conocido como máster en “Arquitectura Biodigital”, un programa de estudios avanzados que está estructurado para la investigación de las últimas tendencias en aplicaciones tecnológicas en arquitectura. Desde su primera edición del 2001, una serie de arquitectos prestigiosos que trabajan en el campo de la arquitectura digital han intervenido en las clases para concienciar a los alumnos de este master que una visionaria manera de crear arquitectura existe. Entre ellos se encuentran Bernard Cache, Mark Burry, Mark Goulthorpe, Denis Dollens, y Kas Oosterhuis, entre muchos otros.

Pero no solo los arquitectos sino que además las experiencias de los alumnos durante este máster han ayudado a crear un lazo profesional importante con estos arquitectos. Por ejemplo, gracias a la ESARQ, tuve la oportunidad de involucrarme en exposiciones como la “Bienal de Venecia” de 2002 con dECOi, con mis distintos modelos paramétricos y prototipos 3D impresos utilizando tecnología punta presente en la escuela. Posteriormente, y también con dECOi, tuve la oportunidad de colaborar en la creación de proyectos utilizando procesos de diseño y construcción avanzados, como la tecnología CAM por ejemplo, para la exposición *Architecture non Standard* en 2003, en el centro Pompidou de París. Además de estas oportunidades, he tenido la ocasión de crear pequeños experimentos personales a nivel profesional, de pequeña escala, que han permitido engrandecer todavía más mi admiración por lo que he podido experimentar en arquitectura hasta hoy.



*Maqueta a escala 1:10 del proyecto Exideuil Folie realizado en la ESARQ (2002), vista virtual de Bankside tower top (2003) y foto del mueble p :wave dibujado y construido utilizando tecnología CAD/CAM (2004)  
(fotos del autor)*

Pero entre estos trabajos, una oportunidad muy interesante apareció en 2003 con la posibilidad de poder colaborar en la construcción del templo de la Sagrada Familia. Esta peculiar obra de Antoni Gaudí dejó a sus sucesores encargados en continuar con la construcción de la obra un desafío arquitectónico en el cual para culminarlo se tendría que emplear a fondo un trabajo de investigación para poder solucionar los principios geométricos formales y posteriormente su proceso constructivo. La tecnología de la era digital estaba siendo investigada y implementada como una herramienta de utilidad para poder solucionar algunos retos de este proyecto. Gracias al Dr. Alberto Estévez y a los arquitectos responsables de la construcción del templo de la Sagrada Familia, he tenido desde finales de 2003 el privilegio y el honor de poder estar colaborando en su edificación.

A lo largo de mi corta trayectoria profesional como colaborador en la construcción de la obra de Antoni Gaudí, y en paralelo manteniendo mi línea profesional de trabajo como profesor universitario asociado y arquitecto consultor, he tenido la conformidad de investigar a fondo la historia de la arquitectura digital, y curiosamente, su cronología me hizo regresar al templo de la Sagrada Familia. Fue posible acceder a material gráfico y textual trascendentes para la redacción de la tesis ya que, después de una investigación a fondo sobre los procesos de fabricación a través de medios digitales en arquitectura, he podido comprobar que los principios del CAM en la arquitectura podrían estar literalmente debajo de

mi cabeza, a unos metros de distancia de mi puesto de trabajo en la oficina técnica del templo de la Sagrada Familia.

En un proyecto tan importante como el templo de la Sagrada Familia, la información referente a su historia, geometría y simbología están muy bien documentadas.<sup>1</sup> A través de distintos tipos de divulgaciones, el reconocimiento en el ámbito de los principios geométricos gaudinianos o su estilo es valorado.<sup>2</sup> Posteriormente, los sistemas constructivos y las innovaciones CAD implementados en la construcción del templo han abierto las puertas del conocimiento a muchos y han divulgado el proyecto a nivel internacional.<sup>3</sup> En la época de los avances informáticos en el ámbito de la arquitectura digital o simplemente del diseño de formas complejas, Antoni Gaudí es reconocido gracias a publicaciones de por ejemplo Mark Burry, que constantemente vincula principios como el diseño paramétrico aplicados a esta obra.<sup>4</sup>

Muchos de los que conocen la arquitectura del templo de la Sagrada Familia mencionan la capacidad que Antoni Gaudí poseía para idear arquitectura utilizando conocimientos fundamentales y que definirían una nueva ciencia.<sup>5</sup> Esto siempre ha implicado en que los arquitectos involucrados en el proyecto pusieran todos sus conocimientos en busca de estrategias para entender geoméricamente el proyecto y luego construirlo. El uso temprano de la tecnología para la fabricación de piezas con máquinas de control numérico ha sido un factor muy importante en el nuevo dialogo del arquitecto con esta obra, que tuvo que negociar un

---

1 Libros como *El Temple de la Sagrada familia* de Isidre Puig Boada o *Gaudí: l'home y l'obra* de Joan Bergós son ejemplos de publicaciones ilustran la historia del templo de la Sagrada Familia

2 Bonet, J., 2001, *L'Últim Gaudí: El Modulat Geomètric del Temple de la Sagrada Família*, 2a ed., Barcelona, Pòrtic

3 Mark Burry ayuda a divulgar junto con Jordi Coll, Josep Gómez Serrano y Juan Carlos Melero el uso del diseño asistido por ordenador en el templo de la Sagrada Familia con publicaciones con el libro *La Sagrada Família: de Gaudí al CAD*, y a nivel internacional con el libro *Expiatory church of the Sagrada Família*

4 Burry, M., 1996, Parametric Design and the Sagrada Família, *Architecture Research Quarterly*

5 Cardellach, F., 1936, La Mecànica D'En Gaudí. *Album Record a Gaudí i al Temple Expiatori de la Sagrada Família*, Barcelona.

nuevo proceso de comunicación con nuevas aplicaciones para transformar la información en una arquitectura real.

La historia hacia la introducción de la tecnología CAM en el templo de la Sagrada Familia empieza en 1987 con las inquietudes de Jordi Bonet, arquitecto director en aquel entonces y hasta la actualidad, en implementar un nuevo sistema de construcción para agilizar, abaratar y llegar a la precisión de la fabricación después de hallar todo el sistema geométrico de diseño de un conjunto de elementos transcendentales del proyecto de Antoni Gaudí, definidas como las columnas helicoidales de doble giro.<sup>6</sup> Hasta entonces, sus sucesores no habían podido llegar a conclusiones formales para estar totalmente seguros de los principios, además de las tremendas dificultades en construirlas. Lo único que se constaba de las columnas in situ ha sido la base estructural de una de las columnas de la nave del templo de la Sagrada Familia, conocida como la “columna de Tarragona” en 1921.<sup>7</sup> Posteriormente la “columna de Barcelona” fue construida por Francesc Quintana entre 1954 y 1956.<sup>8</sup>

La primera columna en construirse utilizando el sistema tecnológico avanzado CAM ha sido una de las que forman parte de la nave central, y definida como la “columna de Lleida”. Después de la adquisición de una máquina de control numérico en 1988 y la búsqueda de una programación adecuada para fabricar las piezas, la construcción de la columna se concluye en enero de 1991.<sup>9</sup>

Esta tesis se desarrollará con la intención de explicar el argumento de la implementación de la tecnología CAM en el templo de la Sagrada Familia para su construcción. Se redactarán las razones, los hechos y sus posteriores influencias, comparándose a continuación con proyectos que

---

6 Bonet, J., 2008, *Conversaciones con el autor en el templo de la Sagrada Familia*

7 *El Propagador de la Devoción de San José*, núm. 24, 15/12/1921, pág. 386

8 Hojas de Trabajo. *Templo*, 01/1956, pág. 04

9 Bonet, J., 1991. Informe D'Obres. *El Temple*, núm. 2, 03/1991, pág. 19

han utilizado CAM en la misma la época. Posteriormente, se analizarán los avances y las influencias de tal hecho en esta gran obra, con el intento de averiguar como el CAM ha podido ser utilizado como una herramienta útil para optimizar los procesos de construcción de la obra de Antoni Gaudí.

El motivo por el que se realiza esta investigación está enfocado en el intento de redactar un hecho histórico poco reconocido de un proyecto de arquitectura pionera como es el templo de la Sagrada Familia. Esta es una obra que empezó con la primera piedra puesta en 1882 y que hasta hoy, con la ayuda de la tecnología CAM implementada en 1988, se continúa avanzando.<sup>10</sup> Esta tecnología ha sido algo inédito en la historia de la arquitectura de la obra de Antoni Gaudí, además de estar hasta la actualidad siendo implementada de distintas e innovadoras maneras.

Entre 1991 y 1992, después de concluir la construcción de la “columna de Lleida” totalmente fabricada con una máquina de control numérico, se menciona en algunas publicaciones el logro conseguido en el templo, pero que sin embargo, no han sido suficientes para causar el impacto necesario para transformarse en una referencia. Además de la generalización del tema en tales publicaciones, no se reconoció el hecho como inédito en la nueva manera de construir arquitectura.

Un hecho de tal importancia no puede pasar desapercibido, especialmente hoy que la concienciación de la tecnología por parte del arquitecto es mayor.<sup>11</sup> Antoni Gaudí es reconocido por muchos de los que trabajan en el ámbito de la arquitectura no convencional como por ejemplo Frank Gehry, Branko Kolarevic, o Karen Vollers. Sin embargo, esta investigación está enfocada en el intento de redactar el inicio de la

---

<sup>10</sup> *El Propagador de la Devoción de San José*, 04/1882 núm. 25, pp. 146-153

<sup>11</sup> Libros como *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing* de Branko Kolarevic ilustran la historia de la era digital aplicada a la arquitectura

aplicación de la tecnología de la construcción asistida por ordenador en la Sagrada Familia. Analizando la historia del CAM en la arquitectura, los inicios son vagamente definidos como “los principios de los 90”, indicando la falta de situación de la tecnología de la Sagrada Familia en su sitio, algo que, por motivos que serán averiguados en la tesis, podría haber formado parte de la referencia del CAM en la arquitectura des de su realización.

Al ser ambigua la definición de los principios de la tecnología CAM en la arquitectura, se situarán los hechos arquitectónicos vinculados a tal tecnología de la época y se emplazará en la historia de estos avanzados procesos al templo de la Sagrada Familia con el intento de averiguar cuando se construyó por primera vez un elemento arquitectónico totalmente robotizado. Comparando con la tecnología de la época, los industriales de diversos sectores como el automovilístico por ejemplo, hasta llegar a los primeros indicios del uso de tal tecnología por parte del arquitecto, se harán la comparación. Además, históricamente se consta que en 1988, año en el que se decide adquirir una máquina de control numérico en esta obra, esta tecnología ya no era inédita en otros campos ya que sus inicios datan del año 1952.<sup>12</sup> Por lo tanto, entre esta época hasta entonces se intentará averiguar que se ha hecho a nivel arquitectónico utilizando la tecnología CAM.

Esta tesis se redacta a partir de documentos publicados referentes a la historia de la tecnología CAM en la arquitectura en general y en el templo de la Sagrada Familia en específico, de archivos históricos textuales y de diseños de esta obra, y sobretodo de entrevistas personales dentro de la obra y que han sido clave para la redacción del hecho. En libros se encuentra una muy escasa cantidad de información referente al asunto. Los documentos históricos y las entrevistas con los responsables

---

<sup>12</sup> Smill, V., 2006, *Transforming the Twentieth Century: Technical Innovations and Their Consequences*, Oxford University Press



directos de la ejecución, con dibujos y los propios archivos de producción enviados a la máquina forman la más eminente parte del soporte de la tesis. Hoy, y gracias a este hecho, los arquitectos expertos en el tema CAD/CAM del templo de la Sagrada Familia son capaces de avanzar con los procesos de optimización de producción, con una serie de estrategias que cumplen los primeros objetivos para el logro de la construcción de esta gran obra, que es el de ser fieles a los principios gaudinianos.

Tal como se redactará durante la tesis, gran parte de las publicaciones encontradas acerca del tema CAD/CAM aplicado al templo de la Sagrada Familia o aplicado a la arquitectura en general suelen ignorar o demostrar el desconocimiento de tal logro arquitectónico de la época como referencia. En el ámbito digital de la época, una cantidad importante de experimentaciones se ha llevado a cabo, aunque pocas veces se veía en realidad una arquitectura concebida y construida con la ayuda del ordenador. Pero por la falta de un vínculo concreto entre los hechos arquitectónicos, se intentará enlazarlos a través de la historia. A principios de la década de 90, la arquitectura es contagiada por la era digital, donde una serie de arquitectos, como por ejemplo Mark Goulthorpe, Dominique Jacob y Brendan MacFarlane, o Lars Spuybroek por ejemplo, empiezan a experimentar los procesos CAD de diseño para llegar a un nuevo estilo.<sup>13</sup> Sin embargo, habrá que regresar atrás, antes del “boom” de la arquitectura digital, para poder situarse apropiadamente en el tiempo y posteriormente crear las comparaciones adecuadas.

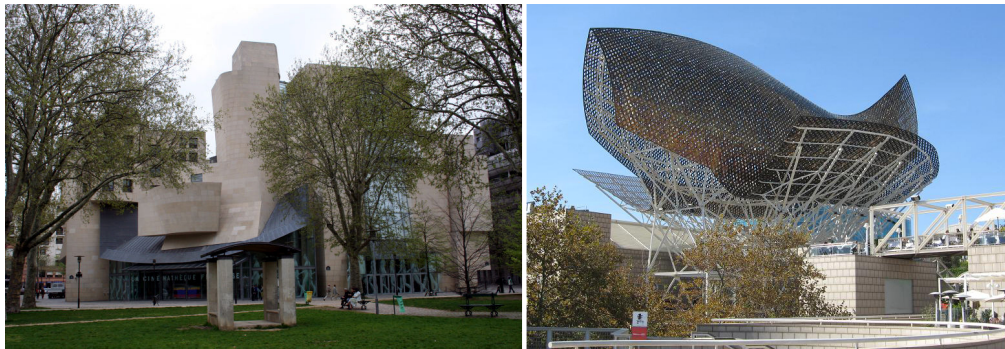
Las entrevistas personales con personas claves, como Jordi Bonet y Antoni Caminal, que vivieron el hecho de construir un elemento arquitectónico robóticamente por primera vez serán analizados y estudiados como una referencia sólida para los posteriores logros de la

---

13 Migayrou, F., Brayer, M., 2001, *Archilab: Radical Experiments in Global Architecture*, Reino Unido, Thames and Hudson

construcción del templo de la Sagrada Familia. Información inédita manejada para la elaboración de la tesis ha sido posible gracias a la obtención de dibujos archivados en esta obra y los archivos de producción de las piedras generados a partir de 1989.

La mejor manera de posicionar el hecho en la cronología histórica es por el medio de las comparaciones con proyectos de similares desafíos de la época. En aquel entonces, pocos estaban a la altura de la complejidad geométrica dejada por Antoni Gaudí, pero que con la necesidad de modelar y fabricar superficies curvas, se introdujo el campo tecnológico en la arquitectura.<sup>14</sup>



*American Center en París (1988-1994) y la escultura para los Juegos Olímpicos de Barcelona (1988-1991) de Frank Gehry son referencias que indican haber sido construidas con la ayuda de un medio relacionado con la tecnología CAM (fotos del autor)*

En el intento de situarse en la historia de la tecnología de la arquitectura y asumiendo el hecho de que en el templo de la Sagrada Familia, la “columna de Lleida” ha sido uno de los primeros elementos arquitectónicos construido robóticamente, se hará una comparación, entre otros, con uno de los primeros proyectos reconocidos en el ámbito tecnológico de la arquitectura, realizado por Frank Gehry utilizando la tecnología CAD/CAM, por ser el arquitecto que ha divulgado esta nueva

---

14 Schodek, D. L., Bechthold, M., Griggs, J. K., Kao, K., Steinberg, M., 2004, *Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Applications in Architecture and Design*, John Wiley & Sons

manera de trabajar en arquitectura. Se trata de un proyecto que se completa a mediados de 1991 y que representa una escultura dedicada a los Juegos Olímpicos de Barcelona 92, realizada por Gehry en asociación con James Glymph, utilizando una tecnología proveniente de la industria aeronáutica.<sup>15</sup> La escultura del pez fue una señal de cambio en su historia con el uso de la tecnología CAD/CAM, sistema de diseño y de construcción asistidos por ordenador. En el mismo periodo de la construcción de la escultura se realizan unas pruebas de corte de piedra con la ayuda de la máquina de control numérico para el American Center de París y un prototipo de un muro curvado de piedra para el Walt Disney Concert Hall de Los Ángeles. En paralelo, se averiguarán otros arquitectos y proyectos vinculados al tema en la misma época, pero que de menor impacto que de Gehry.<sup>16</sup>

Tras la investigación sobre la historia del primer elemento arquitectónico totalmente fabricado por ordenador, se regresará al templo de la Sagrada Familia, donde los adelantos tecnológicos han ayudado avanzar con su construcción y probar nuevas estrategias de fabricación asistida por ordenador. A lo largo de la tesis, se tratará de explicar el tema de los avances de la tecnología CAM en esta obra para su construcción. Esta moderna y revolucionaria herramienta sería ideal para primero construir piezas de complejidades geométricas importantes, y luego con el desarrollo de la técnica, a controlar la precisión, tiempo y coste de producción de las piezas, así agilizando la construcción de la obra. Una comparación posterior sobre las técnicas desarrolladas para el templo de la Sagrada Familia y para la arquitectura en general se realizará.

---

15 Shelden, D. R., 2002, *Digital Surface Representation and the Constructibility of Gehry's Architecture*

16 Kolarevic, B., 2003, *Architecture in the Digital Age. Design and Manufacturing*, Nueva York, Spon Press-Taylor & Francis Group, pág. 225

La primera vez que surge públicamente una mención respecto al templo de la Sagrada Familia sobre ordenador y máquina es en 1988.<sup>17</sup> Esta mención será el punto de arranque de la tesis para poder redactar el hecho histórico de la construcción de la “columna de Lleida” con la tecnología CAM y vincularla a las técnicas que se utilizan hoy en día en esta obra con estrategias ya hechas y por hacer. Se valorará históricamente tal hecho como uno de los puntos de inflexión de una cultura arquitectónica contemporánea que está cada día más familiarizada con los medios tecnológicos. Además, se levantarán cuestiones como la necesidad de nuevas estrategias y nuevas y futuras tecnologías para completar la construcción del templo.

El templo de la Sagrada Familia es un proyecto que proporciona al arquitecto una serie de desafíos geométricos y constructivos. Hasta hoy, se sigue investigando nuevos procesos de construcción tanto artesanalmente como mecánicamente. Los experimentos personales en el ámbito del CAM llevados a cabo durante los últimos años ilustrarán algunos de los avances de los procesos tecnológicos aplicados en el templo. La implementación de la tecnología CAM y sus actuales estrategias estudiadas para su continuación ejemplifican la dificultad del gran reto que el creador de esta obra nos propuso y que gracias a la tecnología y sus avances, estas herramientas proporcionan hoy a la construcción del templo una forma más precisa, rápida y económica de transformar el proyecto de Antoni Gaudí en realidad.

---

17 Bonet, J., 1988. Informe D'Obres de Juliol a Octubre de 1988. *El Temple*, núm. 6, 11/1988, pp. 04-05