

Experiencia de uso de las TIC en el desarrollo de un proyecto arquitectónico singular: la Iglesia Ortodoxa Rumana de Barcelona

The experience of using ICT in the development of a singular architectural project: the Romanian Orthodox Church in Barcelona

Gimenez Mateu, Lluís

Dept. Expresión Gráfica Arquitectónica I
Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona Tech
Barcelona, España
lluis.gimenez@upc.edu

Santana Roma, Galdric

Dept. Expresión Gráfica Arquitectónica I
Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona Tech
Barcelona, España
galdric.santana@upc.edu

Navarro Delgado, Isidro

Dept. Expresión Gráfica Arquitectónica I
Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona Tech
Barcelona, España
isidro.navarro@upc.edu

Redondo Dominguez, Ernest

Dept. Expresión Gráfica Arquitectónica I
Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona Tech
Barcelona, España
ernesto.redondo@upc.edu

Resumen— El presente artículo explica la experiencia de uso en la aplicación de las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) para el diseño, la visualización, la comprobación y la ejecución de la construcción de un templo de culto en Barcelona para la Iglesia Ortodoxa Rumana. El objetivo es evaluar y comprobar si los procedimientos y dispositivos testados en investigaciones de carácter científico y académico, son después aplicables, y en qué grado, en casos reales desde el punto de vista del arquitecto proyectista, el usuario/cliente y el contratista que ejecuta una obra de construcción. El artículo presenta por una parte los resultados obtenidos en una primera fase de proyecto, y formaliza las hipótesis de partida para tener en cuenta en una segunda fase, la de ejecución de la obra.

Abstract – This article explains the experience of using ICT (Information and Communication Technology) for the design, visualization, verification and execution of the construction of the Romanian Orthodox Church in Barcelona. The goal is to evaluate and check if the procedures and devices tested through scientific and academic investigations are applicable in a real case, and in which degree, from the point of view of the design architect, of the user/client and the contractor (builder) executing a construction work. On one hand, this article presents the results obtained in the first phase of the project, and on the other hand it formalizes the starting hypothesis to take into account during the second phase, the execution of the work on the site.

Keywords: *ICTs and Architecture; Rendering; Visual Communication; Augmented Reality; Project Management; Cultural heritage; Romanian Orthodox Church.*

I. INTRODUCCIÓN

En publicaciones académicas del ámbito de la arquitectura y la construcción, es habitual encontrar artículos sobre edificios de culto existentes donde se describen sus características desde diferentes puntos de vista tales como los históricos, constructivos, geométricos, paisajísticos, etc. Durante siglos los edificios de culto se han ido consolidando como referentes arquitectónicos de primer orden y para su comprensión y conservación, se enumeran y clasifican en listas o catálogos de patrimonio arquitectónico teniendo por referencia las de organizaciones como *Unesco*, *Iccrom*, *Icomos*, *Docomomo*, etc. Dentro del campo de la Representación Arquitectónica hay revistas como la española *EGA*, donde en una muestra de sus últimos 10 números (226 artículos) se pueden encontrar hasta 46 artículos (20,35%) que basan sus análisis en edificios de culto consolidados [1], [2]. También en el campo de la construcción y rehabilitación existen ejemplos como el de la revista *E-Conservation Magazine*, especializada en la aplicación de nuevas tecnologías de restauración y rehabilitación sobre patrimonio, donde se constata que gran parte de sus artículos también tienen como referencia

construcciones de culto [3]. Se trata de edificios donde su complejidad formal, geométrica y estructural es superior a otros más convencionales y son muy utilizados hoy en día como base de aplicación para tecnologías de análisis avanzadas: escáner laser 3D, restitución fotogramétrica, *videomapping* [4], realidad aumentada o imágenes multi-espectrales. Este hecho refleja que el investigador siempre actúa de modo pasivo, es decir, no interviene sobre la concepción misma del edificio sino que lo analiza con posterioridad, una vez ejecutado.

Cambiando de asunto, dentro del marco socioeconómico sometido a la actual crisis, hay un país europeo donde la actividad en el sector de la construcción no ha dejado de crecer. Se trata de Rumanía, uno de los países con el PIB más bajo de la comunidad europea, pero en el cual la Iglesia Ortodoxa (religión mayoritaria con un 87% de la población) está llevando a cabo desde hace años una enorme demostración de poder económico construyendo centenares de iglesias por todo el país. En cifras, la Iglesia Ortodoxa Rumana (BOR – *Biserica Ortodoxă Română*), tiene más de 16.000 iglesias y centros de culto repartidos por su territorio o fuera de él; más de 2.000 de ellas han sido construidas en los últimos 23 años (desde la caída del bloque comunista a finales de los años 80); alrededor de 500 se encuentran anualmente en proceso de restauración o rehabilitación; y actualmente se está llevando a cabo la construcción de la Catedral de la Absolución del Pueblo en Bucarest, un mastodóntico edificio con una altura de 125 m, 3.000 m² y un presupuesto de ejecución estimado en 450 millones de euros [5]. Tal actividad constructiva genera miles de puestos de trabajo y gestiona decenas de millones de euros anuales, provenientes tanto de aportaciones económicas del estado como de ayudas voluntarias de millones de feligreses.

El presente artículo incide en el contraste, pero a la vez ligazón entre los dos puntos anteriores. En un primer aspecto entendemos que los investigadores analizan el patrimonio arquitectónico (gran parte de él basado en centros de culto) con una actitud pasiva respecto a su ejecución. Por otro lado en Rumanía se están construyendo miles de edificios basados en unos principios históricos inalterables y supuestamente vigentes hoy en día. La relación entre ambos puntos permite experimentar con edificios donde la aplicación de técnicas de reconocimiento, habitualmente pasivas sobre patrimonio construido, aquí devienen proactivas porque deben aplicarse sobre edificios de nueva planta obligados desde hace siglos a conservar unos rasgos arquitectónicos muy concretos.

El caso rumano es una oportunidad única para interceder desde el origen en edificios que, posiblemente, muchos de ellos acaben catalogados como patrimonio (mayoritariamente de dudosa calificación) y sean objeto de estudio quizás dentro de unas décadas. Los datos anteriores, sin los cuales no se puede entender este artículo, sirven de partida para un proyecto real en construcción: la Iglesia Ortodoxa Rumana de Barcelona. La intención de este artículo, y próximos tal vez, es

mostrar las bases de partida que se tuvieron, tienen y tendrán en cuenta a la hora de formalizar un proyecto basado en unos cánones arquitectónicos clásicos del s. XV y completamente justificados para su construcción en el s. XXI, sobre el cual es inevitable tener que aplicar nuevas tecnologías, ya sea desde el punto de vista de su representación y entendimiento, como del constructivo y de la ingeniería asociada.

II. CONOCIMIENTOS PREVIOS

La arquitectura actual de las iglesias ortodoxas rumanas es el resultado de una larga tradición que parte de los antiguos modelos bizantinos. Cada componente arquitectónico es la respuesta a las necesidades de culto, las condiciones particulares técnicas y constructivas, y también a la voluntad de diferenciarse de otras ortodoxias como la griega, serbia o rusa. Todos estos condicionantes han creado un estilo propio, que se ha preservado durante siglos y que los fieles identifican directamente con el culto. La tradición y normas litúrgicas de la BOR defienden que cualquier iglesia de nueva creación debe cumplir unas normas, condiciones y parámetros esenciales para poder realizar las ceremonias en un ambiente adecuado y de calidad. Las normas son extensas y necesitan de un amplio estudio aunque se pueden resumir en un principio muy claro: cualquier iglesia que se parezca a otra ya construida es correcta y si una nueva aportación se basa en otra ya consolidada, también es válida. Esto provoca que el margen de maniobra para introducir cualquier novedad sea realmente pequeño o inexistente.



Figura 1. Fotografía exterior de la Iglesia del Monasterio de Govora, en la provincia de Vâlcea, Rumanía. [<http://www.manastireagovora.ro/>]

Otro aspecto importante es el del usuario/cliente final, la persona creyente, quién a priori rechaza un edificio de culto que contenga referencias de arquitectura moderna (entendida ésta como conocidos ejemplos de edificios de culto proyectados por Niemeyer, Ando, Aalto, Le Corbusier y otros) y que ejerce la ortodoxia solo en espacios sacros basados en cánones arquitectónicos de la antigüedad cristiana, simbolizados en su interior como el universo y sus diferentes

partes [6]. Para entender las características tipológicas de las iglesias de estilo bizantino, basta remarcar que su continuidad en el tiempo se perpetúa por la concepción de un espacio de culto basado en el funcionalismo, el simbolismo y la estética como expresiones de la espiritualidad. Esto responde al criterio por el cual estas iglesias se construyen siguiendo parámetros casi idénticos desde hace más de cinco siglos.

III. BASES DE PARTIDA

La orientación de las iglesias ortodoxas es la misma que el resto de iglesias cristianas, con el acceso principal generalmente por la fachada de poniente y el altar ubicado en levante. La estructura espacial primaria y obligatoria se forma por una sucesión de salas llamadas *pronaos* (antena), *naos* (nave central) y altar, de acuerdo con el significado teológico del espacio y la forma específica para desarrollar el ritual. El *pronaos*, es una sala de pequeñas dimensiones ancestralmente reservada a neófitos, penitentes o personas no bautizadas, y su paso a la *naos*, de grandes dimensiones, produce un efecto escenográfico de cambio brusco de escala y de percepción del espacio, habitualmente enfatizado por la incorporación de una columnata entre ambas salas. El altar se encuentra en el extremo opuesto al *pronaos*, ligeramente sobre elevado y está reservado a la curia eclesiástica siendo la parte más sagrada e inaccesible. Todas las salas y elementos interiores van posteriormente revestidos con pinturas al fresco, con técnicas exclusivas y ancestrales que perduran hoy en día en países ortodoxos, y que ayudarán al creyente a inmiscuirse en un espacio de relajación y sosiego, al cual debe asociarse la liturgia.



Figura 2. Fotografía con plano contrapicado del interior del *naos* de la Iglesia del Monasterio de *Cozia*, en la provincia de *Vâlcea*, Rumanía. [<http://www.manastireacozia.ro/>]

La imagen exterior de las iglesias no se encuentra tan bien definida como la marcada simbología de sucesión de espacios interiores, ya que responde a la idea aplicada por la ortodoxia de que la importancia del culto recae en la interioridad y el recogimiento. Los cánones religiosos ortodoxos minimizan la representatividad exterior, la apariencia y la opulencia, aunque es evidente que con el paso de los siglos ha obtenido una

importante imagen como reclamo, donde su máxima expresión exterior se centra el volumen superior de tipo cimborrio ubicado habitualmente sobre el *naos*.

El proyecto de Barcelona se desarrolla teniendo en cuenta un encargo complejo, lleno de requisitos formales y constructivos de los cuales los explicados son solo una pequeña muestra. Este tipo de iglesias se forman por la clásica secuencia de arcos y bóvedas yuxtapuestos desde la cota cero hasta la cruz sobre la cúpula, formando cada nivel por la transición sucesiva de plantas de sección cuadrada a otras de sección circular y viceversa. La complejidad de proyectar un edificio así recae en la simbiosis que debe haber, no entre forma y función, (dado que estas se encuentran perfectamente establecidas durante siglos de evolución) sino entre forma y construcción, pues hay que aplicar soluciones constructivas fieles a la forma y que cumplan con las normativas y leyes vigentes allí donde se encuentre.

IV. FASES

La finalidad del estudio es poner en cuestión los diferentes procesos de visualización y comprensión de un proyecto mediante las TIC, basado en un ejemplo de construcción real que incorpora también unos agentes reales (usuario/cliente, técnicos y contratistas) y para lo cual se va a realizar en dos fases:

a) Fase 1 (correspondiente a este artículo) con el análisis de comunicación y usabilidad habido con el usuario/cliente durante el proceso de diseño del proyecto, especificando las ventajas e inconvenientes de los diferentes sistemas empleados. Y una vez conocido esto, la definición de las hipótesis de trabajo a tener en cuenta para una segunda fase.

b) Fase 2 (en experimentación) correspondiente a la investigación, usabilidad y resultados de aplicar las TIC en una obra de construcción, otra vez con agentes reales, dado que el estado constructivo en que se encuentra la obra es el inicio de ejecución de la estructura propia de la iglesia, un banco de pruebas y experimentación de primer grado.



Figura 3. Estado actual de las obras del sótano de la Iglesia Ortodoxa Rumana de Barcelona. [<http://www.bisericabarcelona.es/>]

V. FORMALIZACIÓN DIGITAL

Para el proyecto concreto de la BOR en Barcelona, la estructura debe respetar y adaptarse a la morfología de superficies interiores, cumpliendo además con todos los requisitos y normativas estructurales vigentes. En colaboración con BOMA (*Brufau, Obiol, Moya & Associats s.l.* – ahora BomaImpasa) y su software propio de análisis lineal, se calcula la estructura de hormigón armado de soporte principal del edificio. Los pilares, arcos, bóvedas y losas de hormigón forman un entramado no visible al espectador aunque deberán ser la base para la mampostería que revestirá los cerramientos interiores y esta a su vez base sobre la cual se aplicaran los frescos de la iconografía.

Los primeros modelos tridimensionales se generan con el programa *Rhinoceros v.4* y son renderizados con el programa *Autodesk 3DSMax*. Se trata de modelos correspondientes al interior de la iglesia, aquellos que plasman la información de los estudios previos en un espacio con dimensiones reguladas por la normativa municipal. Estos modelos sirven de base para revisar las primeras intenciones de proyecto con el cliente, y es donde aparecen los primeros problemas de comunicación visual dada la imposibilidad de representar adecuadamente un espacio de reducidas dimensiones con una importante carga simbólica. Las primeras imágenes impresas descartan la visualización de los modelos con la típica iconografía interior de las iglesias bizantinas, es decir, las superficies no reciben ningún *mapping* y solo se aplican materiales neutros para diferenciar sus partes. Para una visualización sincera del interior de la iglesia, la ubicación de cámaras en el modelo 3D implica siempre posicionar las coordenadas del punto de vista dentro del espacio interior modelado. El posicionamiento en el exterior del modelo habitualmente conlleva la necesidad de omitir superficies para poder ver el interior. Este hecho, además de no situar al espectador en una posición real, infravalora el modelo 3D dado que aparecen obstrucciones visuales inexistentes, sombras irreales al realizar las imágenes renderizada, o efectos de luz que nada tendrán que ver con la realidad. La gran apertura del campo visual es entonces la única garantía de ver ampliamente el interior del modelo sin tener que ubicar el punto de vista fuera, para lo cual se abren ángulos superiores a 90° o 100° de apertura, semejantes a distancias focales de 18 o 15 mm si los comparamos con objetivos de cámaras *full frame*. Aunque socialmente están cada vez más aceptadas (basta ver los grandes campos visuales con los que videojuegos recorren los espacios 3D) se comprueba la difícil lectura y la interpretación errónea de los espacios, sobre todo por parte del usuario/cliente final, no habituado en técnicas de visualización avanzadas.

En el presente caso de estudio, se puede afirmar que cuando los ángulos de visión superan los 90° o 100° sexagesimales, el usuario/cliente no experto no concibe bien los espacios y es incapaz de reconstruir mentalmente la sensación que tiene dentro de él; no proporciona, no regula las distancias y no percibe las dimensiones de los diferentes elementos que se

representan. Esta primera exposición del proyecto delante del cliente se puede resumir en que no por abarcar más superficie de visualización del modelo 3D este se entiende mejor.

Ante los bajos resultados de comprensión obtenidos, en otra sesión de presentación se decide visualizar los espacios interiores a través de monitores de pc o de ordenador portátil, con interacción del usuario/cliente no experto. Se pretende que el reconocimiento del espacio no se limite a una única instantánea sino a una secuencia animada que permita al usuario/cliente estructurar mentalmente la sucesión de espacios para su comprensión. El resultado en este caso es que el usuario/cliente no está familiarizado con las interfaces 3D y desconoce cómo aplicar libremente los movimientos a través de un teclado o mouse convencionales. La primera prueba se realiza con software de libre acceso basado en interacción de modelos 3D decidiéndose por un archivo *Adobe pdf 3D*, con sus herramientas estándar de navegación que se facilitan a partir de la versión *Adobe Reader 7.0* de enero de 2005. Para generar el modelo *pdf 3D* es necesaria la conversión del modelo de *Rhinoceros v.4* hacia *MicroStation v8 2004 Edition*, para lo cual se produce una pérdida de datos significativa en el mallado de las superficies. Las interfaces de teclados o mouse habituales en despachos de arquitectura o centros académicos se vuelven auténticas barreras de interrelación entre modelo3D/usuario cuando en realidad deberían facilitar el trabajo. Es el ingeniero, arquitecto o profesional quien debe interactuar con el ordenador y navegar por el espacio virtual para explicar las características del proyecto. En este caso la usabilidad de la herramienta se pierde al no controlar el mismo usuario/cliente la voluntad de los movimientos.

En paralelo, un nuevo punto intercede en el estudio dado la necesidad por parte del cliente de observar, no solo el espacio interior sino el exterior, pero esta vez en el emplazamiento real de la construcción. Observando que los resultados de visualización con interacción de hardware y monitores no producen ninguna sensación de inmersión, al contrario reduce la comprensión, se decide la introducción de las TIC y el uso de técnicas de Realidad Aumentada (RA) mediante posicionamiento de marcadores para buscar la aprobación del cliente final. [7]

VI. RA COMO PRESENTACIÓN

La incorporación de RA se realiza por aplicación del *plugin AR-Media v- Pro-lite* sobre el programa *Google Sketchup v.8* que comercializa *Inglobe Technologies*. Su funcionamiento radica en ubicar un modelo 3D (modelado exterior realizado con *Google Sketchup*, ahora comercializado por el desarrollador *Trimble*) sobre un escenario real visualizado a través de una *webcam* y por medio de marcadores impresos 2D de reconocimiento de posición y orientación [8], [9]. Se realizan dos pruebas mediante pc portátil y cámara web autónoma de alta definición. La primera trata de la visualización del exterior del modelo 3D dentro de una

habitación mediante un marcador plano de 20 x 20 cm sobre superficie horizontal; la segunda es la visualización del exterior del modelo 3D en el emplazamiento real por medio de un marcador de grandes dimensiones, 60 x 60 cm.

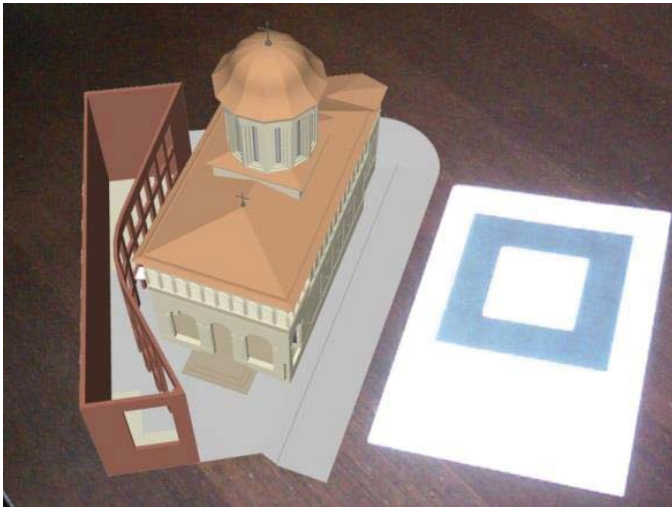


Figura 4. Captura de pantalla de la visualización en RA del edificio con marcador de 20 x 20 cm.

La primera prueba obtiene resultados satisfactorios ya que el usuario/cliente aprecia a través del monitor el modelo 3D de un modo intuitivo, desplazando y girando el marcador a voluntad con una aceptable coordinación entre la velocidad de movimientos del marcador y la respuesta acompañada de la imagen en pantalla. Aparecen también diferentes temas menores a solucionar para una adecuada interacción, como son la tenue iluminación de la habitación lo cual provoca que el dispositivo pierda fácilmente la referencia del marcador y desaparezca en pantalla. Los estabilizadores de la *webcam* no están lo suficientemente desarrollados, como tampoco los controladores del *plugin*, para evitar un continuo aunque minúsculo temblor de la imagen que perjudica la visión de los detalles del modelo, acentuado cuando el marcador en lugar de reposar sobre un elemento horizontal fijo, está controlado por la mano humana. La iluminación del modelo 3D no se corresponde con el de la habitación con lo que la similitud a una maqueta física real es nula en este aspecto. Además, cuando el *zoom* o ampliación de la imagen se realiza acercando manualmente la cámara web al marcador, solo se consigue un aumento considerable del temblor definido anteriormente.

Una segunda prueba se realiza en el emplazamiento real del proyecto, esta vez para visualizar el modelo 3D dentro del conjunto urbano y descubrir el impacto paisajístico que produce el edificio en su entorno. Se decide preparar su viabilidad en varios aspectos: primero, la búsqueda en el modelo 3D de la mejor posición del vector de visualización para que otorgue una perspectiva representativa del edificio; segundo, confirmar la idoneidad de esa posición con ayuda de información cartográfica para descubrir que se encuentre libre de obstáculos reales; tercero, la ubicación virtual del marcador

en el programa 3D en cuanto a posición y orientación, en este caso sobre un poste georreferenciado que aparecerá también en la imagen aumentada; cuarto, la impresión y ubicación del marcador in situ de grandes dimensiones y en un plano vertical; quinto, la determinación de las posiciones por coordenadas cartesianas del punto de vista en el modelo 3D; y sexto, el uso del *plugin AR-Media* sobre *Google Sketchup*, con *webcam* para capturar el marcador y emplazar el modelo 3D sobre el entorno urbano [10].



Figura 5. Fotografía con *webcam* de la obra con el marcador *AR-media* sobre el poste izquierdo y la visualización del modelo virtual en RA en el monitor.

Ante este procedimiento cabe destacar que el éxito depende de la posición y la estabilización de todos los elementos, desde el marcador hasta la *webcam* apoyada en trípode o soportes de fijación. Al realizarse con luz solar el marcador tiene un alto grado de iluminación y contraste por lo que la *webcam* lo detecta rápidamente e incorpora bien localizado el modelo 3D. Si los pasos se toman con elevada precisión la inmersión del modelo en el escenario es geoméricamente muy precisa a pesar de los inconvenientes del pequeño cimbreo de la imagen y de la no incorporación de sombras, en este caso.



Figura 6. Captura de pantalla de la visualización en RA del edificio superpuesto en su emplazamiento final.

La prueba se salda con relativo éxito, pero también naufraga en dos puntos parecidos a los anteriores: la necesidad de que la cámara esté fija y no pierda el contacto con el marcador, y los molestos reflejos de luz exterior que se producen en pantalla al estar al aire libre. Ante los procesos de identificación por medio de marcadores o de códigos QR es difícil obtener una

gran precisión, sin embargo el grado de satisfacción del usuario/cliente es mucho mayor. Éste puede ahora relacionar directamente las proporciones exteriores del edificio sobre un entorno físico real y comprobar el impacto paisajístico que genera aunque solo sea desde un punto de vista concreto.

VII. VISUALIZACIÓN DINÁMICA

Continuando el proceso para una mejor comprensión del edificio desde cualquier punto de vista se prueban nuevas metodologías, esta vez no con marcadores estáticos, sino volviendo a la fotografía plana visualizada mediante pantallas móviles en referencia a las *Tablet* o *Smartphone*.

Partiendo del modelo 3D inicial del interior de la iglesia se decide renderizar con *Autodesk 3dsMax* una imagen panorámica de proyección esférica 360x180° para aumentar la comprensión del modelo [11]. Esta imagen, contrariamente a su visualización por medio de un monitor estándar, permite una interacción mucho más directa por medio de *Tablet Samsung 10"* con sistema operativo *Android*. Se genera un archivo .png de 4096 x 2048 píxeles de tipo esférico con uso del renderizador *Mental Ray* para *3dsMax*, que se introduce en la *Tablet* por medio de archivos ubicados en carpetas multiplataforma *Dropbox*. Para su visualización se escoge la *App* gratuita en *Play Store* de *Android*, denominada *Photosphere HD Live Wallpaper* que permite, además de incorporar fondos de pantalla animados, visualizar en pantalla completa imágenes 360° de proporción 2:1. La aplicación incluye la elección interactiva de la apertura del campo visual de modo que se resuelven de una sola vez los problemas iniciales encontrados en el uso de imágenes 2D. Se escoge para este ejemplo una apertura del campo visual de 60° en el plano vertical, con proporción de pantalla 16:9.

La inmersión en la escena y el reconocimiento del modelado interior 3D han aumentado notablemente debido a que el oscilómetro de la *Tablet* permite orientar la imagen ofreciendo una visión espacial (esférica) completa en cualquier dirección, obedeciendo a las fáciles instrucciones del usuario solo con la orientación de la *Tablet*. La *App* se convierte así en un sencillo instrumento de fácil acceso y configuración al permitir además orientar la cámara a voluntad, simplemente deslizando el dedo sobre la *Tablet* para reubicar el punto de vista independientemente del oscilómetro.

Sin duda alguna la aparición masiva de las *Tablet* en el mercado a precios asequibles (sobre todo los modelos con pantalla de 10" o mayores) permiten la visualización dinámica y semiinmersiva en espacios arquitectónicos generados a partir de los habituales programas CAD 3D. El movimiento provocado por los oscilómetros aplicados a las imágenes esféricas produce una sensación de control y usabilidad no experimentados en otros ejemplos testados. Su capacidad para ser transportadas y maniobradas, en resumen su versatilidad, la convierten en un inseparable compañero para profesionales de la arquitectura que desean hacer comprender sus proyectos al usuario/cliente final sin grandes inversiones en tecnología.

VIII. CONCLUSIONES

El alto grado de percepción espacial se consigue con la incorporación de las técnicas de RA que mezclan los elementos virtuales sobre un escenario real percibidos a través de *Tablet*. Ya sea con imagen 2D esférica o con modelos 3D referenciados, los datos sensoriales producidos por el movimiento de los brazos y cuerpo del usuario/cliente, le permiten relacionar perfectamente la imagen que está viendo en pantalla con su posición en el espacio real, reconociendo los volúmenes con mayor grado de entendimiento. Se espera que las nuevas TIC ofrezcan herramientas más precisas en combinación con RA, llegando a la total inmersión como pueden ser las futuras gafas de RA que desarrolla *Meta*, cuya comercialización se espera para Julio de 2014. También se espera el aumento de precisión en base a la georreferenciación si se utiliza el *Sistema de Navegación Global por Satélite, Galileo (GNSS)* en *Smartphones* o *Tablets*, dada su mayor precisión frente al conocido *GPS*.

El usuario/cliente final entendido en este artículo como el promotor y responsable económico del proyecto, por su condición de máximo interesado es también el primer agente que interviene en el proceso para el cual se han facilitado las TIC probadas. Ahora bien, el proceso continúa y en su condición de real un segundo agente entra en escena, el contratista, entendido como la empresa que edifica la obra teniendo en cuenta la singularidad y dificultad de la BOR en Barcelona.

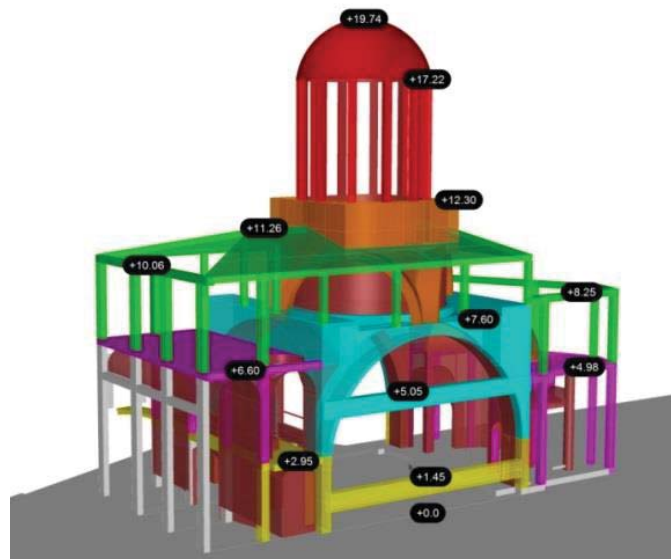


Figura 7. Modelo tridimensional de la estructura de hormigón (sin el sótano) realizado en *Rhinoceros v.4*. Las futuras 7 fases de ejecución corresponden a los 7 diferentes colores.

IX. TRABAJO FUTURO EN LAS PUBLICACIONES TIC

Ante los múltiples problemas que presenta la comprensión de la geometría de la estructura para su replanteo, encofrado y armado (comprobado durante la ejecución parcial del sótano) el siguiente paso será la propuesta de introducción de RA en la obra y su interacción con sus operarios. En este caso concreto es absolutamente necesario el dialogo fluido entre el *Project Manager* de la obra con el resto de intervinientes, un dialogo comúnmente plagado de dificultades por la escasa preparación geométrica y de comprensión espacial de los operarios, sobretudo en obras como la descrita, lejos de parecerse a cualquier tipo de construcción convencional.

En paralelo también hay un creciente uso de tecnologías *BIM* y paramétrica para la construcción arquitectónica, desde su ideación hasta su prefabricación, pero la actual crisis del sector todavía no ha permitido su generalización y se encuentra reservada a aquellas obras que lo hacen viable, sobretudo grandes construcciones casi siempre fuera de la vieja Europa. Al contrario, con el ejemplo del presente artículo se pretende introducir las TIC en la construcción más generalista, tradicional y próxima que utiliza los habituales sistemas de construcción con hormigón armado y encofrados in situ, en esta ocasión basada en la BOR de Barcelona y su inminente reanudación de las obras.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el Proyecto de innovación docente “EDU2012-37247/EDUC: *E-learning* 3.0 en la docencia de la Arquitectura. Casos de estudio de investigación educativa para un futuro inmediato” del Gobierno de España.

REFERENCIAS

- [1] Calvo, José; Alonso, M. Angel; Natividad, Pau, “La Bóveda de la Capilla de la Virgen del Alcázar en San Patricio de Lorca. Experimentación geométrica en la arquitectura renacentista del sur de España” *EGA*, No. 22, (2013), pp. 122-131.
- [2] Castaño Perea, Enrique, “Trazas renacentistas en dos cúpulas de Vandelvira: teoría y praxis” *EGA*, No. 21, (2013), pp. 140-150.
- [3] Dietz, Christian; Catanzariti, Gianluca; De la Presa, Pablo; Fenández, Víctor M.; Jimeno, Alfredo, “3D Documentation using terrestrial Laser Scanning of the Remains of the Jesuit Mission in the Region of Lake Tana, Ethiopia” *E-Conservation Magazine*, No. 24, (2012), pp. 106-125.
- [4] Burzon, Albert. “Video mapping Pantocrator – Sant Climent de Taüll” [en línea]. BurzonComenge (2013) [Consulta: 22 febrero 2014]. Disponible en: <http://www.burzoncomenge.com/223402/2539874/motion-graphics/video-mapping-pantocrator-sant-climent-de-tauell>
- [5] Dunlop, Tessa. “Romania’s costly passion for building churches” [en línea]. London: British Broadcasting Corporation, (2013) [Consulta: 22 febrero 2014]. Disponible en: <http://www.bbc.co.uk/news/magazine-23420668>.
- [6] Crisan, Mircea, “Restaurarea structurala a claridilor de cult ortodox din Tara Romaneasca si Moldova” Bucharest: Editura Universitara Ion Mincu, (2010). ISBN 978-973-1884-61-5.
- [7] Cirulis, Amis; Brigis, Kristaps, “3D Outdoor Augmented Reality for Architecture and Urban Planning” VARE 2013
- [8] Redondo, E.; Sanchez Riera, A.; Fonseca, D., Visual interfaces and user experience: augmented reality for architectural education: one study case and work in progress. *Communications in Computer and Information Science*, (2011), 166(3) pp. 355-367, Springer Verlag, 22/06/2011. ISBN. 978-3-642-21984-9
- [9] Perey, Christine; Terenzi, Graziano, “AR-Assisted 3D Visualization for Urban Professional Users. ARmedia First White Paper of Inglobe Technologies Srl” (October 2013)
- [10] Rodrigues, Felipe; Etchegaray, Felipe; Medina, Hector; Borda, Adriane, Desenvolvimento de Aplicativo para Visualização de Patrimônio Histórico-Arquitetônico em Realidade Aumentada, SIGRADI (2012)
- [11] Dias, Leonel; Coelho, António; Rodrigues, André; Rebelo, Carlos; Cardoso, André. “GIS2R - Augmented Reality and 360° Panoramas Framework for Geomarketing”. CISTI 2013