

## Nuevas tecnologías de visualización para la mejora de la representación arquitectónica en educación

Isidro Navarro Delgado

<http://hdl.handle.net/10803/403374>

**ADVERTIMENT.** L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

**ADVERTENCIA.** El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

**WARNING.** The access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and

## TESIS DOCTORAL

Título	Nuevas tecnologías de visualización para la mejora de la representación arquitectónica en educación.
Realizada por	Isidro Navarro Delgado
en el Centro	Escuela Técnica Superior de Arquitectura de La Salle Universitat Ramon Llull
y en el Departamento	Arquitectura
Dirigida por	PhD. David Fonseca Escudero (URL) PhD. Joaquim M. Regot Marimon (UPC)



**NUEVAS TECNOLOGÍAS DE VISUALIZACIÓN PARA LA MEJORA DE LA  
REPRESENTACIÓN ARQUITECTÓNICA EN EDUCACIÓN**

*NEW VISUALIZATION TECHNOLOGIES FOR ENHANCED ARCHITECTURE  
REPRESENTATION IN EDUCATION*



# Agradecimientos

A todos los compañeros de investigación, profesores del departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona de la Universidad Politécnica de Catalunya y del área de Ingeniería y del departamento de Arquitectura de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de La Salle de la Universidad Ramón Llull.

A los voluntarios y las colaboradoras con quienes he tenido el placer de trabajar para el desarrollo de proyectos orientados a personas con discapacidades y que han ofrecido todas las facilidades a su alcance, y han apoyado incondicionalmente a los estudiantes, especialmente a Laura Blanco (Delegación de la ONCE en Tarragona) y Carme de Miquel (Basílica de la Sagrada Familia).

A mis directores de tesis, David Fonseca y Joaquín Regot.

Y especialmente a mis padres, por enseñarme los valores humanos que he tenido la oportunidad de transmitir como profesor.



# Resumen

La presente memoria de Tesis aborda propuestas metodológicas para el uso de nuevas tecnologías de Realidad Aumentada para la mejora competencial del estudiante universitario de Arquitectura y Arquitectura Técnica en la expresión gráfica y espacial de proyectos.

La tesis se ha realizado a través de casos de estudio llevados a cabo en los últimos ocho años con los estudiantes de las asignaturas de Técnicas de Representación I y II y Sistemas de Representación I y II de los grados previamente comentados. Los proyectos resultantes se han estudiado desde diversos puntos de vista como por ejemplo la interacción, usabilidad, accesibilidad, motivación y satisfacción que el trabajo con dichas propuestas ha generado en los alumnos. Las innovaciones tecnológicas han modificado sustancialmente los métodos de trabajo en el ámbito docente y han permitido observar la fácil adaptación de los estudiantes y su atracción por estas innovaciones, lo que finalmente ha conllevado una mejora curricular.

Los artículos presentados en la tesis por compendio muestran los resultados y procesos de trabajo en la implementación de las propuestas metodológicas.



# Resum

La present memòria de Tesi aborda propostes metodològiques per a l'ús de noves tecnologies de Realitat Augmentada per a la millora competencial de l'estudiant universitari d'Arquitectura i Arquitectura Tècnica en l'expressió gràfica i de l'espai de projectes.

La tesi s'ha realitzat a través de casos d'estudi duts a terme en els últims vuit anys amb els estudiants de les assignatures de Tècniques de Representació I i II i Sistemes de Representació I i II dels graus prèviament comentats. Els projectes resultants s'han estudiat des de diversos punts de vista com per exemple la interacció, usabilitat, accessibilitat, motivació i satisfacció que el treball amb aquestes propostes ha generat en els alumnes. Les innovacions tecnològiques han modificat substancialment els mètodes de treball en l'àmbit docent i han permès observar la fàcil adaptació dels estudiants i la seva atracció per aquestes innovacions, la qual cosa finalment ha comportat una millora curricular.

Els articles presentats en la tesi per compendio mostren els resultats i processos de treball en la implementació de les propostes metodològiques.



# Abstract

The memory of this thesis deals with methodological proposals for the use of new technologies of augmented reality for the competence improvement of University students of architecture and technical architecture in the graphic and spatial expression of projects.

The thesis has been carried out through case studies carried out in the last eight years with the students of the subjects of techniques of representation I and II of the previously mentioned degree representation systems. The resulting projects have been studied from various points of view as for example interaction, usability, accessibility, motivation and satisfaction that working with these proposals has generated in the students. Technological innovations have changed the working methods in the teaching field and have allowed to observe the easy adaptation of the students and their attraction to these innovations, which has finally led to a improve curriculum.

The papers presented in the thesis by compendium show results and work processes in the implementation of the methodological proposals.



# Tesis doctoral por compendio de publicaciones

La presente tesis doctoral se acoge a la normativa para la elaboración de tesis doctorales por compendio de publicaciones de la Universitat Ramon Llull. La normativa consta de los siguientes puntos:

1. Una tesis doctoral por compendio de publicaciones tiene que estar formada por un mínimo de tres artículos sobre una misma línea de investigación.
2. Sólo se aceptarán artículos de publicaciones que dispongan de un sistema de evaluación por ‘peer review’ y/o que estén indexadas preferentemente en bases de datos científicas internacionales.
3. Sólo se aceptarán artículos publicados, o aceptados para su publicación, realizados con fecha posterior a la primera matriculación del doctorando a los estudios de doctorado o máster oficial.
4. Los coautores de los artículos darán su conformidad por escrito a la utilización del artículo como parte de la tesis de doctorado.
5. Los coautores de los artículos publicados no formarán parte del tribunal de la tesis.
6. Los coautores de los artículos publicados y utilizados en una tesis que no tengan el grado de doctor renunciarán por escrito a utilizar el artículo en otra tesis. En el supuesto de que los artículos publicados sean de más de un equipo de investigación, la comisión de doctorado del centro podrá considerar excepciones justificadas en la aplicación de esta norma.
7. La tesis contará con una introducción general que presente los trabajos publicados, una justificación de la unidad temática, una copia de cada trabajo publicado, un resumen global de los resultados, su discusión y las conclusiones finales.
8. Por todo lo citado anteriormente, se tendrá que presentar siempre, al inicio del proceso de la tesis, una solicitud formal a la comisión de doctorado del centro y obtener su aceptación favorable. La comisión velará por la calidad de las publicaciones que se quieren presentar para la tesis. A la solicitud se añadirá también un informe del director de la tesis indicando qué es la contribución

específica del doctorando al trabajo presentado y la del resto de autores, si se tercia. Se tendrá que presentar el acta de aprobación de la comisión del centro a la comisión de doctorado de la URL en el momento de la tramitación ordinaria de la Tesis.

La presente tesis cumple con todos los puntos previamente citados. Los artículos son los siguientes:

2016

Navarro, I., de Reina, O., Rodiera, A., & Fonseca, D. (2016, June). Indoor positioning systems: 3D virtual model visualization and design process of their assessment using mixed methods: Case study: World heritage buildings and spatial skills for architecture students. In Information Systems and Technologies (CISTI), 2016 11th Iberian Conference on (pp. 1-6). IEEE. DOI: 10.1109/CISTI.2016.7521532

2016

Giménez, L., Navarro, I., & Cabrera, A. (2016). Aproximación de superficies para la ejecución de bóvedas tabicadas. EGA. *Revista de expresión gráfica arquitectónica*, 21(27), 220-231. DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/ega.2016.4742>

2017

Navarro, I., Fonseca, D. (2017) Nuevas tecnologías de visualización para mejorar la Representación de Arquitectura en la Educación. *ACE: Architecture, City and Environment = arquitectura, ciudad y entorno*. Artículo aceptado (12 de enero de 2017). En impresión.

# ÍNDICE

Agradecimientos.....	V
Resumen.....	VII
Resum.....	IX
Abstract.....	XI
1 Introducción.....	19
1.1 Motivación.....	19
2 Hipótesis y objetivos.....	21
2.1 Innovación.....	21
2.2 Cronograma de la Tesis.....	25
2.2.1 Periodo Inicial (2008-2011): Representación Arquitectónica y discapacidades.....	25
2.2.2 Segundo Periodo (2011-2014): Visualización Arquitectónica y nuevas tecnologías.....	27
2.2.3 Periodo Actual (2015-Act): Innovación docente en Arquitectura. La época de visualización e interacción avanzadas.....	30
3 Marco Teórico.....	33
3.1 Metodologías educativas innovadoras y las TIC.....	33
3.2 Educación basada en competencias.....	35
3.3 La adquisición de las competencias y la motivación.....	38
3.4 Fundamentos y teorías educativas y del aprendizaje.....	39
3.5 Metodologías actuales.....	42
3.6 Technology Enhanced Learning y el Método TPACK.....	44
3.7 Representación Gráfica.....	45
3.7.1 Ingeniería.....	45
3.7.2 Herramientas para la Expresión Gráfica.....	47
3.7.3 Tecnologías de visualización. RA y RV.....	48

3.7.4	CAD vs BIM.....	49
3.8	Nuevas Tecnologías en educación de Arquitectura.....	53
4	Cronología general.....	57
4.1	Cronología general y justificación del compendio. ....	61
5	Artículos por compendio.....	69
5.1	Artículo 1 .....	69
5.2	Artículo 2 .....	79
5.3	Artículo 3 .....	93
6	Conclusiones.....	115
7	Líneas futuras de investigación.....	119
	Bibliografía.....	121
8	Publicaciones relacionadas .....	129
8.1	Periodo Inicial (2008-2011).....	130
8.2	Segundo Periodo (2011-2014).....	131
8.3	Periodo Actual (2015-Act).....	133

## ACRÓNIMOS

<i>ABP</i>	<i>Aprendizaje Basado en Problemas</i>
<i>BIM</i>	<i>Building Information Modelling</i>
<i>BLA</i>	<i>Bipolar Laddering Assessment</i>
<i>B-Learning</i>	<i>Blended Learning</i>
<i>BYOD</i>	<i>Bring Your Own Device</i>
<i>BYOT</i>	<i>Bring Your Own Technology</i>
<i>CAD</i>	<i>Computer Aided Design</i>
<i>CSCL</i>	<i>Computer Supported Collaborative Learning</i>
<i>DEA</i>	<i>Diploma de Estudios Avanzados</i>
<i>ECTS</i>	<i>European Credit Transfer and Accumulation System</i>
<i>EEES</i>	<i>Espacio Europeo de Educación Superior</i>
<i>EG</i>	<i>Expresión Gráfica</i>
<i>ETSAB</i>	<i>Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona</i>
<i>ETSALS</i>	<i>Escuela Técnica Superior de Arquitectura La Salle</i>
<i>GBL</i>	<i>Gamed Based Learning</i>
<i>GRETEL</i>	<i>Grup de Recerca amb Tecnologies per Enhanced Learning</i>
<i>HCI</i>	<i>Human Computer Interaction</i>
<i>HCV</i>	<i>Human Computer Visualization</i>
<i>MCT</i>	<i>Metal Cutting Test</i>
<i>MIT</i>	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
<i>M-Learning</i>	<i>Mobile Learning</i>
<i>MOOC</i>	<i>Massive Online Open Course</i>
<i>ODL</i>	<i>Online Distance Learning</i>
<i>ONCE</i>	<i>Organización Nacional de Ciegos de España</i>
<i>PBL</i>	<i>Project Based Learning</i>
<i>PLE</i>	<i>Personal Learning Environment</i>
<i>QBL</i>	<i>Quest Based Learning</i>
<i>RA</i>	<i>Realidad Aumentada</i>
<i>RV</i>	<i>Realidad Virtual</i>

<i>SAD</i>	<i>Sistema de Apoyo al Dibujo</i>
<i>SDR</i>	<i>Sistemas De Representación</i>
<i>TIC</i>	<i>Tecnologías de la Información y de la Comunicación</i>
<i>TPACK</i>	<i>Technological PedAgogical Content Knowledge</i>
<i>UNESCO</i>	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
<i>UPC</i>	<i>Universidad Politécnica de Cataluña</i>
<i>URL</i>	<i>Universidad Ramón Llull</i>
<i>VLE</i>	<i>Virtual Learning Environments</i>

# 1 Introducción

## 1.1 Motivación

La presente tesis tiene su origen en la investigación iniciada en 2008 en el desarrollo de proyectos con estudiantes de la escuela de Arquitectura de La Salle Tarragona - URL mediante el uso de nuevas tecnologías para la representación de proyectos de accesibilidad para personas con discapacidades visuales. El resultado de los proyectos se promueve mediante la divulgación en publicaciones científicas y conferencias internacionales obteniendo una acogida excelente, lo cual motivó la exploración de proyectos similares. La combinación de metodologías docentes para el aprendizaje por proyectos con nuevas tecnologías para mejorar la expresión gráfica orientada a proyectos de accesibilidad, supone un reto especialmente motivador. En siguientes ediciones de los cursos se diseñan proyectos orientados a los espacios arquitectónicos singulares como es la arquitectura de Gaudí en la Basílica de la Sagrada Familia.

Inicialmente el ámbito de estudio se centró en la creación de material didáctico obtenido de procesos informáticos con programas de modelado avanzado. Esta etapa generó una línea de investigación en la integración de herramientas digitales con el objetivo de estudiar posibles mejoras en la expresión gráfica de los proyectos de espacios arquitectónicos. En la actualidad, los trabajos de investigación se centran en la innovación educativa desde la exploración de nuevas tecnologías basadas en la Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Virtual (RV) a otros sistemas inmersivos e interactivos.

El desarrollo de competencias y habilidades en el uso de sistemas tecnológicos están marcadas como directrices de trabajo del actual Plan Bolonia en grados como los que nos ocupan, es por ello que la investigación se centra en metodologías disruptivas colocando al alumno en el epicentro sobre el que se diseña el proyecto. Las propuestas siguen una evolución lógica desde estrategias próximas a la accesibilidad para continuar hacia casos de estudio que hacen más énfasis en los sistemas de RA y RV.

La estrategia de casos de estudios que se ha desarrollado se centra en el aprendizaje mediante proyectos (PBL, Project Based Learning) cuya aplicación se asemeja a la realidad profesional del arquitecto y que incluye al usuario final en el proceso de diseño. Estamos delante de una estrategia constructivista, 'Learning By Doing', donde el alumno participa en la creación de su conocimiento aspecto que mejora la motivación e implicación de los estudiantes especialmente en materias que integran nuevas tecnologías, generando un acercamiento a la realidad profesional desde el análisis del espacio con nuevos formatos digitales. La función social de los proyectos resulta una razón especial para la dinámica de la metodología empleada y promueve una reflexión hacia el uso de los avances tecnológicos en el ámbito de la representación arquitectónica.

## 2 Hipótesis y objetivos

La hipótesis principal es que **mediante el uso de nuevas tecnologías de visualización como son la RA y la RV se mejora la representación de arquitectura en el ámbito de la educación, favoreciendo la motivación y competencias de los estudiantes**. Para la evaluación de la hipótesis principal se establecen los siguientes objetivos:

- Exploración de **estrategias docentes basadas en la tecnología** como herramienta de apoyo en el proceso de aprendizaje. Se considera que nuevas metodologías docentes **mejoran el rendimiento del alumno**.
- **Es posible la mejora en las competencias y motivación** de los estudiantes a través de la **medición con métodos mixtos** (evaluación tanto cuantitativa como cualitativa utilizando el BLA – Bipolar Laddering Assessment).
- **La representación de un proyecto arquitectónico a través de la tecnología** desde el proceso de ideación hasta la consecución final **puede ampliar la capacidad de comprensión espacial** y orientarse a todo tipo de público.
- **El aprendizaje basado en tecnología móvil (M-Learning)** aplicada en la docencia del grado de arquitectura para el análisis y representación espacial de proyectos puede **aumentar la motivación** de los estudiantes.

### 2.1 Innovación

La principal aportación de la presente tesis radica en la propuesta de metodologías docentes para la mejora de las competencias de los estudiantes incorporando nuevas tecnologías de RA y RV en la representación de proyectos arquitectónicos. Durante los 8 últimos años, se han desarrollado propuestas metodológicas basadas en proyectos con carácter social para la mejora de la comprensión espacial a través de tecnologías de visualización.

Las principales (que no exclusivas) competencias trabajadas a lo largo de los proyectos docentes que posteriormente describiremos, y en base a su clasificación en los distintos libros blancos de los grados de Arquitectura y Arquitectura Técnica, han sido:

- Competencias Generales:
  - Trabajo en equipo (IT2),
  - Capacidad para aplicar los conocimientos a la práctica (CS1),
  - Capacidad de organizar y planificar (IS2),
  - Habilidades básicas en el uso del ordenador (IS7),
- Específicas:
  - Aplicación de los procedimientos gráficos en la representación de espacios y objetos (A6-Ideación gráfica),
  - Representación atributos visuales de los objetos dominando la proporción y las técnicas informáticas (A7-Representación espacial).
- Habilidades con los sistemas de representación espacial (B5-Sistemas de representación),
- Habilidades con las técnicas de levantamiento gráfico en todas sus fases (B6-Restitución gráfica).

Para ello, hemos trabajado en las siguientes asignaturas donde han realizado tareas docentes, tutoriales y de investigación:

- Herramientas Informáticas 1. Grado de Arquitectura y Arquitectura Técnica y Edificación La Salle, Universitat Ramon Llull (URL). 1r Semestre, 6 créditos ECTS: Desarrollo básico de herramientas de representación CAD (Computer Aided Design) 2D/3D.
- Herramientas Informáticas 2. Grado de Arquitectura y Arquitectura Técnica y Edificación La Salle, Universitat Ramon Llull (URL). 4r Semestre, 6 créditos ECTS: Modelado, Texturizado, Iluminación 3D, edición de imagen y composición.

- Sistemas de Representación I. Grado de Arquitectura La Salle, Universitat Ramon Llull (URL). 5º semestre, 6 créditos ECTS. Tecnologías especializadas en la representación gráfica, composición y diseño gráfico digital.
- Sistemas de Representación II. Grado de Arquitectura La Salle, Universitat Ramon Llull (URL). 6º Semestre, 6 créditos ECTS. Estudio de herramientas avanzadas de diseño paramétrico, tecnologías móviles y fabricación digital.
- Sistemas de Información Geográfica – BIM (Building Information Modeling), Grado de Arquitectura y Arquitectura Técnica y Edificación La Salle, Universitat Ramon Llull (URL). Asignatura optativa, 3 créditos ECTS. Programas de modelado paramétrico para proyectos de edificación.
- Dibujo II. Grado de Arquitectura Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). 2º semestre, 6 créditos ECTS. Herramientas de diseño y modelado geométrico 3D para el aprendizaje de geometría.

Las asignaturas de herramientas informáticas están orientadas hacia la adquisición de competencias para la elaboración de proyectos de edificación, en el primer caso (Herramientas Informáticas I) para la representación 2D, y en el segundo (Herramientas Informáticas II) para el modelado 3D y su presentación final en la composición de paneles.

Las asignaturas de Sistemas de Representación I y II se centran en las competencias específicas de ideación gráfica y representación espacial. Además, se añaden otras competencias como la aplicación de parámetros de accesibilidad en la representación y en la definición de materiales didácticos para la comprensión de las formas arquitectónicas y geometrías implícitas de los proyectos. Otra competencia añadida es la usabilidad analizando la experiencia del usuario final en los procesos de diseño de los contenidos de los propios alumnos.

La asignatura de Sistemas de Información Geográfica - BIM forma a los alumnos en competencias profesionales con herramientas específicas para la práctica profesional en oficinas técnicas para el desarrollo de la documentación gráfica en proyectos técnicos.

La asignatura de Dibujo II se centra en la mejora de las capacidades geométricas de los estudiantes a partir de la implementación de formación en geometría desde programas de modelado 3D.

La diversidad de herramientas tiene puntos en común como la mejora en las competencias en programas informáticos orientados a la representación de los proyectos. Del mismo modo, siguen una distribución de contenidos con dificultad progresiva en la estructura del plan académico de los centros. Por el contrario, los contenidos de estas asignaturas están muy focalizados en la representación gráfica, la accesibilidad a través de la representación, y la implementación inmediata profesional en desarrollo de proyectos de edificación, entre otros aspectos clave. Para cada uno de los ámbitos de competencias se establecieron estrategias de implementación diferentes en función de cada asignatura y de los tiempos disponibles destinados a los contenidos extracurriculares.

Inicialmente, las valoraciones de los casos de estudio sólo se estudiaban desde un punto de vista cuantitativo y relacionado con la mejora académica y la motivación del alumno. Las muestras con pocos estudiantes, nos hicieron modificar el enfoque hacia un trabajo con métodos mixtos (cuantitativos y cualitativos), los cuales mejoran la comprensión de las variables estudiadas y que nos han permitido concluir de forma fehaciente en el aumento de motivación y satisfacción de los estudiantes en el uso de tecnologías para su proceso formativo. Como consecuencia de este resultado también se ha observado una mejora cualitativa de los trabajos que influye directamente en la mejora de habilidades, competencias y en definitiva del expediente académico.

Sin duda, un aspecto fundamental y diferenciador de la presente tesis se haya en el hecho que habitualmente no es fácil encontrar estudios en la rama de ingeniería y arquitectura que evalúan el grado de motivación o adaptación del estudiante a innovaciones pedagógicas y menos cuando estas incorporan tecnología. El enfoque social/pedagógico, junto con la obtención del “feedback” del usuario final (a veces el estudiante y otras el ciudadano en general, sus potenciales usuarios finales una vez acabados los estudios), son aspectos que mejoran la formación del estudiante en arquitectura para sus futuros proyectos y lo habilitan para ejercer con éxito su carrera profesional.

Para la mejor comprensión del proceso de investigación y los sucesivos aportes científicos, se presentan los proyectos a través de una distribución cronológica. Esta

relación ha sido elaborada en base a los proyectos que se han presentado en conferencias, artículos, congresos y publicaciones en revistas o capítulos de libros. La relevancia del proceso ha sido avalada por diversos comités científicos y como resultado se presenta la evolución en esta tesis por compendio.

## 2.2 Cronograma de la Tesis

La organización de los artículos se distribuye en periodos de tiempo que se consideran resultado de esta evolución: periodo inicial (2008-2011), segundo periodo (2011-2014) y periodo actual (2015-2016).

Estos periodos están directamente relacionados con varios factores: la capacidad tecnológica de los dispositivos y los programas, las estrategias docentes de implementación de nuevas tecnologías en las aulas y las oportunidades de aplicación de proyectos de manera puntual en casos reales.

Todos estos factores tienen mayor o menor presencia en cada caso, algunos son proyectos concretos de implementación desde la universidad en procesos docentes de transferencia tecnológica en proyectos reales y otros son ensayos de implementación en las aulas.

### 2.2.1 Periodo Inicial (2008-2011): Representación Arquitectónica y discapacidades

Los estudios de doctorado se inician en el programa de la UPC ‘Comunicación Visual en Arquitectura y Diseño’ en el curso 2000-2001. Durante los siguientes años se cursan las asignaturas que culminan en la presentación del DEA en el año 2008. El proyecto de investigación presentado corresponde al uso de nuevas tecnologías para la ‘Representación arquitectónica para personas discapacitadas’. Este fue el tema que inicialmente se trató como proyecto de tesis presentado ante tribunal de la UPC el 28 de Junio de 2011 y aprobado para convertirse en Tesis posteriormente.

El motivo por el que se escogió el tema fue debido al tipo de proyectos implementados en el aula con estudiantes de arquitectura durante los años 2008 al 2011. Como se menciona anteriormente, la investigación iniciada en 2008 en el desarrollo de proyectos con estudiantes de la escuela de Arquitectura de La Salle Tarragona – URL estaba muy orientada a la representación para personas con discapacidad. El uso de nuevas metodologías se aplica en el aprendizaje de geometrías complejas y en procesos de fabricación digital para la producción de modelos tridimensionales con la finalidad de

crear material pedagógico para personas con discapacidad visual. Dada la paradoja de estar realizando un proyecto con alumnos y en el ámbito docente de la URL en el cual se imparte mayoritariamente mi docencia en este periodo, mientras se está matriculado de los estudios de doctorado de la UPC, a partir de 2011, se inicia la codirección de mi actual director de tesis que culmina con el cambio de expediente a este entorno de desarrollo.

La difusión de las actividades de investigación se realizó en ponencias de conferencias internacionales que se detallan a continuación:

*Fonseca, D.; Navarro, I.; Puig, J.: “Códigos QR aplicados a la visualización arquitectónica”. XV Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital: cultura aumentada. SIGRADI 2011, 16 al 18 de Noviembre. Argentina. 2011*

*Villagrasa, S.; Durán, J.; Navarro, I.: “Digital characters”. The 7th International Conference on Social and Organizational Informatics and Cybernetics: SOIC 2011 in the context of the 5th International Multi-Conference on Society, Cybernetics and Informatics: IMSCI 2011. Proceedings IMSCI 2011. Estados Unidos de América. 2011*

*Navarro, I.; Fonseca, D.: “Implementation of methodological processes of users experience with 3D technology and augmented reality. Case study with students of architecture and users with disabilities”. The 7th International Conference on Social and Organizational Informatics and Cybernetics: SOIC 2011 in the context of the 5th International Multi-Conference on Society, Cybernetics and Informatics: IMSCI 2011. Proceedings IMSCI. Estados Unidos de América. 2011*

*Redondo, E.; Giménez, L.; Santana, G.; Navarro, I.; Fonseca, D.: “3D technologies applied to architectural teaching. Study case: The Host Course in the School of Architecture of Barcelona”. CISTI 2011 6ª Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información. Actas de la 6ª Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información. AISTI/UTAD. Chaves, Portugal. 15-18 Junio de 2011*

*Redondo, E.; Navarro, I.; Sanchez, A.; Fonseca, D.: “Visual interfaces and user experience: augmented reality for architectural education: one study case and work in progress”. DICTAP 2011 International Conference on Digital Information and Communication Technology and its Applications. Communications in Computer and Information Science, 2011, volumen 166, Part 3. Francia. 2011*

*Fonseca, D.; Redondo, Navarro, I.; Pifarré, M.; Villegas, E.: “Mobile visualization of architectural projects: quality and emotional evaluation based on user experience”. DICTAP 2011 International Conference on Digital Information and Communication Technology and its Applications. Communications in Computer and Information Science, 2011, volumen 166, Part 3. Francia. 2011*

*Fonseca, D.; Navarro, I.; Redondo, E.: “Designing architectural images for small screen devices in function of user experience”. CISTI 2011 6ª Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información. Actas de la 6ª Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información. AISTI/UTAD. Chaves, Portugal. Arc1 15-18 Junio de 2011*

*Navarro, I.; Fonseca, D.: “Diseño de exposiciones arquitectónicas para discapacitados visuales: aplicación de tecnologías 3D y experiencias de usuario”. Novena Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática. CISTI 2010. Memorias Novena Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática (vol III). Estados Unidos de América. 2010*

*Navarro, I.: “User’s experience in the visualization of architectural images in different environments”. Novena Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática: CISTI 2010. Memorias (Vol. II). Estados Unidos de América. 2010*

Navarro, I.; Fonseca, D.: **“Accesibilidad web en entornos culturales”**. Octava Conferencia Iberoamericana en sistemas, Cibernética e Informática. Memorias (Vol. III). Estados Unidos de América. 2009

Fonseca, D.; García, O.; Navarro, I.; Duran, J.; Villegas, E.; Pifarré, M.; Sorribes, X.: **“Iconographic WEB image classification base don Open Source Technology”**. Octava Conferencia Iberoamericana en sistemas, Cibernética e Informática. 13th World MultiConference on Systemics, Cybernetics and Informatics 2009 (WMSCI09). Estados Unidos de América. 2009

Navarro, I.; Fonseca, D.: **“Accesibilidad web en entornos culturales”**. Actas de Conferencia IADIS Ibero-Americana. www/internet 2008. Portugal. 2008

Fonseca, D.; García, O.; Navarro, I.: **“Impacto emocional en la visualización de imágenes en función del tipo de pantalla”**. Actas de Conferencia IADIS Ibero-Americana. www/internet 2008. Portugal. 2008

Fonseca, D.; Navarro, I.: **“Impacto emocional en la visualización de imágenes en función del tipo de pantalla”**. Actas de Conferencia IADIS Ibero-Americana. www/internet 2008. Portugal. 2008

Navarro, I.: **“Naturaleza para todos. Tecnología para una señalización adaptada”**. Séptima Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática. 3er Simposium Internacional en Comunicación del Conocimiento y Conferencias. Memorias. Estados Unidos de América. 2008

Adicionalmente, se obtienen las siguientes publicaciones en revistas y/o libros:

Redondo, E.; Navarro, I.; Sánchez, A.; Fonseca, D.: **“Visual interfaces and user experience: Augmented Reality for architectural education: one study case and work in progress”**. Revista: Communications in computer and information science (ISSN: 1865-0929). Clave: A Volumen: 166 CCIS Páginas 335-367. Junio 2011

Fonseca, D.; Redondo, E.; Navarro, I.; Pifarré, M.; Sorribes, X.: **“Mobile visualization of architectural projects: Quality and emotional evaluation based on user experience”**. Revista: Communications in computer and information science (ISSN: 1865-0929). Clave: A Volumen: 166 CCIS Páginas 407-416. Junio 2011

Puig, J.; Fonseca, D.; Villagrana, S.; García, O.; Navarro, I.; Paniagua, F.: **“Statistical approach of user’s experience in the visualization of architectural images in different environments”**. Journal of systemics, cybernetics and informatics (ISSN: 1690-4524). Clave: A Volumen: 8 Páginas: 79-84. 2010

### 2.2.2 Segundo Periodo (2011-2014): Visualización Arquitectónica y nuevas tecnologías

La segunda etapa destaca por un incremento en las publicaciones y participación en congresos internacionales presentando los resultados de la investigación docente. Se inicia un periodo de exploración centrado en sistemas y tecnologías de RA y el uso de tecnologías móviles. Las experiencias en las aulas con estudiantes se multiplican y los resultados empiezan a mostrar avances positivos como se explica en los artículos. Los casos de estudio se plantean como herramientas en asignaturas de representación con medios informáticos y que incorporan sistemas de visualización innovadores que son aplicables posteriormente a otras asignaturas como Proyectos o Urbanismo. Con este objetivo, se definen nuevas implementaciones en las asignaturas de SDR I y SDR II con

los estudiantes de arquitectura. Se continúa trabajando con proyectos que implica la participación de personas con discapacidad por lo motivador que resulta a los alumnos de estas asignaturas debido al alcance social de las prácticas. Los proyectos acabados se presentan en los centros universitarios, en exposiciones públicas y en las ponencias de los congresos internacionales de expertos científicos en los sectores de las nuevas tecnologías y la innovación docente con el fin de hacer el máximo de divulgación y validar los proyectos desarrollados en ámbitos científicos como se detalla a continuación:

*Redondo, E.; Vall, F.; Fonseca, D.; Navarro, I.; Villagrasa, S.; Olivares, A.; Peredo, A.: “Educational qualitative assessment of augmented reality models and digital sketching applied to urban planning”. 2<sup>nd</sup> Technological Ecosystem for Enhancing Multiculturality. TEEM’14 Proceedings. España. 2014*

*Sánchez, A.; Redondo, E.; Fonseca, D.; Navarro, I.: “Academic performance assessment using augmented reality in engineering degree course”. 44<sup>th</sup> Annual Frontiers in Education Conference. Proceedings IEEE. España. 2014*

*Puig, J.; Redondo, E.; Fonseca, D.; Villagrasa, S.; Navarro, I.: “Augmented and geo-located information in architectural education framework”. 16<sup>th</sup> International Conference on Human-Computer Interaction. Virtual, augmented and mixed reality: applications of virtual and augmented reality: 6<sup>th</sup> International Conference, VARM 2014, Held as Part of HCI International 2014, Heraklion, Crete, Greece, June 2227, 2014. Proceedings, part II. Grecia. 2014*

*Giménez-Mateu, L.; Navarro, I.; Santana, G.; Redondo, E.: “Experiencia de uso de las TIC en el desarrollo de un proyecto arquitectónico singular: la Iglesia Ortodoxo Rumana de Barcelona” 9<sup>a</sup> Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información. Actas. Barcelona. 2014*

*Navarro, I.; Galindo, A.; Fonseca, D.: “Augmented reality uses in educational research projects: The ‘Falcones Project’, a case study applying technology in the Humanities framework at high school level”. 1<sup>st</sup> Technological Ecosystem for Enhancing Multiculturality. Proceedings. España. 2013*

*Giménez-Mateu, L.; Navarro, I.; Santana, G.; Redondo, E.: “The experience of using ICT in the development of a singular architectural project: The Romanian Orthodox Church in Barcelona” 9<sup>th</sup> Iberian Conference on Information Systems and Technologies. CISTI. Barcelona. 2014*

*Redondo, E.; Fonseca, D.; Sánchez, A.; Navarro, I.: “New strategies using handheld augmented reality and mobile learning-teaching methodologies in architecture and building engineering degrees”. International Conference on Virtual and Augmented Reality in Education. Procedia Computer Science 25 2013 ICVARE. España. 2013*

*Fonseca, D.; Villagrasa, S.; Redondo, E.; Navarro, I.: “Estudio de perfil de usuario y motivación del alumno para el uso de dispositivos móviles en la visualización de modelos tridimensionales”. XV Simposio Internacional de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la Educación SINTICE 2013. Libro de Actas. España. 2013*

*Rodiera, A.; Navarro, I.: “Real-Time Dynamic Lighting Control of an AR Model Base don a Data-Glove with accelerometers and NI-DAQ”. VAMR 2013 5<sup>th</sup> International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality. Proceedings VAMR 2013 part I. Estados Unidos de América. 2013*

*Sánchez, A.; Redondo, E.; Fonseca, D.; Navarro, I.: “Construction processes using mobile augmented reality: a study case in building engineering degree”. World CIST’13 – World Conference on Information Systems and Technologies. Advances in Information Systems and Technologies, advances in Intelligent Systems and Computing, vol 206. Portugal 2013*

Fonseca, D.; Martí, N.; Navarro, I.; Redondo, E.; Sanchez, A.: **“Uso de la Realidad Aumentada como plataforma educativa en la visualización arquitectónica. Evaluación del grado de satisfacción y usabilidad por parte del alumnado”**. XIV Simposio Internacional de Informática Educativa. SIIE 2012: Actas del congreso. Andorra la Vella, Andorra. 2012

Navarro, I.; Redondo, E.; Sánchez, A.; Fonseca, D.; Martí, N.; Simón, D.: **“Teaching evaluation using augmented reality in architecture. Methodological proposal”**. 7ª Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información. Actas del congreso. Madrid, España. 2012

Fonseca, D.; Martí, N.; Navarro, I.; Redondo, E.; Sánchez, A.: **“Using augmented reality and education platform in architectural visualization: Evaluation of usability and student’s level of satisfaction”**. 2012 International Symposium on Computers in Education. Proceedings. Andorra. 2012

Adicionalmente, se obtienen las siguientes publicaciones en revistas y/o libros:

Fonseca, D.; Navarro, I.; Galindo, A.: **“Nuevas estrategias docentes en Bachillerato. Uso de la Realidad Aumentada como herramienta tecnológica para la visualización de contenidos multimedia”**. Revista Comunicación y Pedagogía (ISSN: 1136-7733) Clave A, Vol 1, pp. 91-97, Dic. 2014

Fonseca, D.; Martí, N.; Redondo, E.; Navarro, I.; Sánchez, A.: **“Relationship between student profile, tool use, participation, and academic performance with the use of Augmented Reality technology for visualized architecture models”**. Computers in Human Behavior (ISSN: 0747-5632) Clave A, Volumen 31, pp. 434-445. Feb. 2014

Redondo, E.; Sánchez, A.; Fonseca, D.; Navarro, I.: **“Enseñanza geolocalizada de los proyectos urbanos. Nuevas estrategias educativas con ayuda de dispositivos móviles. Un estudio de caso de investigación educativa”**. ACE: architecture, city and environment = arquitectura, ciudad y entorno (ISSN: 1887-7052) Clave A, Volumen 8, pp. 11-32. Feb. 2014

Redondo, E.; Fonseca, D.; Sánchez, A.; Navarro, I.: **“Mobile learning en el ámbito de la arquitectura y la edificación. Análisis de casos de estudio”**. Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento, RUSC (ISSN: 1698-580X) Clave A, Volumen 11, pp. 152-174. Editorial UOC. Enero 2014

Sánchez, A.; Redondo, E.; Fonseca, D.; Navarro, I.: **“Hand-held augmented reality: usability and academic performance assessment in educational environments: case study of an Engineering Degree Course”**. Information (Japan) (ISSN: 1343-4500) Clave A, Volumen 16, pp. 8621-8634. Editorial International Information Institute. Dic 2013

Rodiera, A.; Navarro, I.: **“Real-Time Dynamic Lighting Control of an AR Model Base don a Data-Glove with accelerometers and NI-DAQ”**. Lecture notes in computer science (ISSN: 0302-9743) Clave A Vol. 8021 LNCS, pp. 86-93. Julio 2013

Redondo, E.; Fonseca, D.; Giménez-Mateu, L.; Santana, G.; Navarro, I.: **“Alfabetización digital para la enseñanza de la arquitectura. Un estudio de caso”**. Arquitecturarevista (ISSN: 1808-5741) Clave A. Volumen 8, pp. 76-87. Enero 2012

Fonseca, D.; Redondo, E.; Navarro, I.; Pifarré, M.; Villegas, E.; Badía, A.; Ruíz, E.: **“Quality evaluation of architectural projects in mobile devices based on user experience”**. Ubiquitous Computing and Communication Journal (ISSN: 1994-4608) Clave A, Volumen Special Issue Visual, pp. 1262-1268. Mayo 2012

Redondo, E.; Navarro, I.; Sánchez, A.; Fonseca, D.: **“Augmented reality on architectural and building engineering learning processes. Two study cases”**. Ubiquitous Computing and Communication Journal (ISSN: 1994-4608). Clave A, Vol. Special Issue Visual, pp. 1269-1279. Mayo 2012

Redondo, E.; Fonseca, D.; Puig, J.; Fonseca, D.; Villagrasa, S.; Navarro, I.: **“Augmented and geo-located information in an architectural education framework”**. Lecture notes in computer science (ISSN: 0302-9743) Clave A, Volumen 8526, pp.15-26. 2014

*Redondo, E.; Fonseca, D.; Sánchez, A.; Navarro, I.: “Augmented reality in architecture degree: new approaches in scene illumination and user evaluation”. Journal of Information Technology and Application in Education (ISSN: 2227-6459). Clave A, volumen 1, pp. 19-27. Marzo 2012*

*Villegas, E.; Fonseca, D.; Pifarré, M.; Redondo, E.; Navarro, I.: “Applying user experience methods on TV quiz shows interaction design”. Ubiquitous Computing and Communication Journal (ISSN: 1994-4608). Clave A, Vol. 7, pp. 201201-201209. Febrero 2012*

### 2.2.3 Periodo Actual (2015-Act): Innovación docente en Arquitectura. La época de visualización e interacción avanzadas.

La aparición de gafas inteligentes en el mercado tecnológico impulsa nuevas iniciativas en la línea de las realizadas anteriormente y ampliando las posibilidades de los resultados así como nuevas vías de experimentación para la RA y la RV en el campo de la Arquitectura desde el ámbito académico. Algunas de las experiencias se amplían a las asignaturas de Herramientas Informáticas I y II. Una de las implementaciones llevadas a cabo consistió en la incorporación de la RA de forma obligatoria en las conclusiones de los trabajos de primer curso y la RV en los de segundo curso.

Ambas implementaciones son el resultado de la exploración del periodo anterior y que anuncian la futura etapa de investigación con los dispositivos de gafas de RV y RA que está previsto aparecerán de manera constante en un futuro próximo.

Los casos de estudio proliferan más allá de las propias asignaturas y se comienzan a realizar acciones puntuales con estudiantes, a la vez que se desarrollan proyectos en colaboración con las áreas de ingeniería de la escuela de Arquitectura La Salle (URL).

2015

*Conferencia de proyecto de accesibilidad y tecnología en el Seminario en jornada científica ‘Accesibilidad aplicada al Patrimonio de la UNESCO, La Seu Vella’. Lleida, 15 octubre 2015*

*Conferencia en Jornada organizada por TEA Themed Entertainment Association EMEA ‘From AR, VR & Mixed Reality to immersive worlds’. Barcelona, 29 octubre 2015*

*Workshop ‘Professors I ‘Ciència’ organizado por Fundació Catalunya La Pedrera ‘Realidad Virtual y Realidad Aumentada aplicada en el aula’. La Salle Campus Barcelona, Barcelona, 13 noviembre 2015*

*2 Talleres de Realidad Aumentada para alumnos de ESO y Bachillerato. La Salle Campus Barcelona, 2015*

*Conferencia ‘Proyecto docente de Accesibilidad y tecnología aplicada al Turismo’ en la jornada de accesibilidad con motivo del ‘Día de las personas discapacitadas’. Lleida, 3 diciembre 2015*

*Conferencia ‘Augmented Reality. Heritage & emerging Technologies’ en el Master Oficial en Gestión del Patrimonio Cultural, Facultad de Geografía e Historia, Universitat Barcelona. 10 diciembre 2015*

Conferencia '**Construyendo Espacios Singulares Educativos. Tecnologías aplicadas a la educación**'. 1er. Encuentro Espacios Singulares Educativos organizado por la Fundación SM y el Instituto Relacional. Museo Caixa Fórum, Madrid, 17 diciembre 2015

2016

Conferencia '**From AR, VR & mixed reality to immersive worlds**' en el Máster en Comunicación y Márketing Digital, Universitat Autònoma de Barcelona. Casa de la Convalescència, UB, Barcelona, 9 enero 2016

Organización de conferencia para la divulgación de tecnología '**Augmented & Virtual Reality. Market Trends for 2016**'. Grupo Augmented Reality Barcelona, Barcelona, 27 enero 2016

Conferencia '**Nuevas Tendencias para la Visualización en el Proceso Integral de Edificación**'. BIM European SUMMIT 2016. World Trade Center, Barcelona, 18 enero 2016

Workshop **2o Encuentro Espacios Singulares Educativos** organizado por la Fundación SM y el Instituto Relacional. MediaLAB Prado, Madrid, 26 febrero 2016

Conferencia '**M-learning: Una nueva visión del aprendizaje**' en el encuentro Inspiring Education, organizado por CELWorking y la Escola Virolai. Barcelona, 3 marzo 2016

**5 Talleres de Realidad Aumentada para alumnos de ESO y Bachillerato**. La Salle Campus Barcelona, 2016

Workshop '**Realitat Augmentada i Virtual a l'aula**' a l'escola Marta Mata. Montornés del Vallés, 11 abril 2016

Conferencia '**Una visión a los nuevos espacios virtuales de educación**'. 3er. Encuentro Espacios Singulares Educativos organizado por la Fundación SM y el Instituto Relacional. Escola Virolai, Barcelona 15 abril 2015

Organización de conferencia para la divulgación de tecnología '**Augmented Reality & Neuroscience**'. Grupo Augmented Reality Barcelona, Barcelona, 20 abril 2016

Conferencia '**Serious Games & Health. Emerging Technologies**' en el seminario organizado por ENTI School y Division of Clinical Informatics, BIDMC and Harvard Medical School. Barcelona, 28 abril 2016

Adicionalmente, se obtienen las siguientes publicaciones en revistas y/o libros:

Giménez, L.; Navarro, I.; Cabrera, A.: "**Aproximación de superficies para la ejecución de bóvedas tabicadas**". EGA. Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica, [S.I.], vol. 27, pp 220-231, Mayo 2016 (ISSN: 2254-6103). FOI: <http://dx.doi.org/10.4995/ega.2016.4742>. 2016

Navarro, I.; De Reina, Oriol.: "**Realidad Virtual y localización interior de contenidos para gafas inteligentes. Casos de estudio en el patrimonio de la UNESCO**". Revista Comunicación y Pedagogía 287-288. Realidad Virtual y Educación. Clave: <http://www.centrocop.com/comunicacion-y-pedagogia-287-288-realidad-virtual-y-educacion/>. Dic 2015

Navarro, I.; De Reina, O.; Rodiera, A.; Fonseca, D.: "**Posicionamiento en interiores: Visualización de modelos virtuales 3D y diseño de su evaluación mediante métodos mixtos Caso de estudio: Edificios patrimonio de la Humanidad y educación espacial en estudiantes de arquitectura**". 11ª Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática: CISTI 2016. Actas de la 11ª Conferencia, (Vol. I), pp. 136-142. Gran Canaria, España. Junio 2016



## 3 Marco Teórico

### 3.1 Metodologías educativas innovadoras y las TIC

Desde hace aproximadamente una década, las instituciones europeas de educación superior se hallan inmersas en un proceso de transformación con el objetivo de crear un marco común que permita la movilidad y genere una sociedad competitiva basada en el conocimiento (Ministros Europeos de Educación Superior, 1998). Como objetivo de la reforma educativa promovida en la ‘Declaración mundial sobre la educación superior’ de la UNESCO<sup>1</sup> en 1998: “las instituciones de educación superior deben formar a los estudiantes para que se conviertan en ciudadanos bien informados y profundamente motivados, provistos de un sentido crítico y capaces de analizar los problemas de la sociedad, buscar soluciones para los que se planteen a la sociedad, aplicar éstas y asumir responsabilidades sociales”. En España, las universidades se encuentran en un proceso de rediseño y verificación de sus titulaciones de acuerdo con las nuevas directrices establecidas para el EEES. Un cambio que pretende situar al estudiante en el centro del proceso de enseñanza-aprendizaje, focalizando los estudios en las competencias que debe poseer el recién egresado, potenciando el saber hacer del estudiante, la iniciativa y el aprendizaje autónomo, según marcan los descriptores de Dublín (Joint Quality Initiative, 2004).

Los nuevos métodos pedagógicos también supondrán nuevos materiales didácticos. Estos deberán estar asociados a nuevos métodos de examen, que pongan a prueba no sólo la memoria sino también las facultades de comprensión, la aptitud para las labores prácticas y la creatividad.

Este nuevo panorama genera un contexto idóneo para el uso de las nuevas Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) en la educación superior, herramientas clave en el desarrollo de estas nuevas competencias.

---

<sup>1</sup> [http://www.unesco.org/education/educprog/wche/declaration\\_spa.htm](http://www.unesco.org/education/educprog/wche/declaration_spa.htm)

En esta línea, el proceso de Bolonia<sup>2</sup> (1999) impone a las universidades tres metas fundamentales que se derivan de dicha declaración:

**La competitividad** o capacidad para atraer estudiantes europeos y de terceros países.

**La empleabilidad**, centrada en el aprendizaje en aquello que es relevante para el mercado de trabajo y la vez disponer de un sistema claro que certifique que esos resultados son alcanzados.

**La movilidad** interna y externa de estudiantes, profesores y personal.

Como ya pronosticaba (Adell, J. 1997) hace más de una década, la digitalización de la información ha cambiado el soporte primordial del saber y el conocimiento y con ello nuestros hábitos y costumbres en relación al conocimiento y la comunicación y, a la postre, nuestras formas de pensar. En este sentido, las nuevas tecnologías han desmaterializado, deslocalizado y globalizado la información; pasando de una cultura basada en el átomo a una cultura basada en el bit (Negroponte, 1995). Si analizamos la incorporación de las TIC en la docencia (Uceda y Barro, 2008), podemos observar como las universidades siguen implantando, de forma creciente, las nuevas tecnologías como apoyo a la docencia y además, en algunos casos, de manera extensiva. En cifras generales, en España, en 2008, había 14,6 alumnos por ordenador en las aulas de docencia reglada, tendencia que va aumentando sucesivamente, el número de ordenadores por cada 100 alumnos es de 32, duplicando los 15 ordenadores de media de la Unión<sup>3</sup>. Así mismo, el 81% de las aulas tienen cobertura wifi y el 81% de las aulas cuentan con al menos una conexión a Internet. Por otro lado, el 52,1% de asignaturas poseen una plataforma software de apoyo a la docencia, dato que supone un incremento del 9,9% con respecto al año anterior. A pesar de esta fuerte evolución de las TIC, no parece que las prácticas docentes dominantes en las aulas hayan cambiado de forma notoria (Martín, 2009). Existe un desfase entre la potencialidad de las TIC incorporadas en las aulas y la escasa renovación de los procesos pedagógicos. Las TIC se han ido incorporando en nuestras universidades, a menudo asociadas a prácticas docentes individuales. Por ejemplo, en muchos casos simplemente se han sustituido las tradicionales pizarras de nuestras aulas

---

<sup>2</sup> [http://www.ond.vlaanderen.be/hogeronderwijs/bologna/documents/MDC/BOLOGNA\\_DECLARATION1.pdf](http://www.ond.vlaanderen.be/hogeronderwijs/bologna/documents/MDC/BOLOGNA_DECLARATION1.pdf)

<sup>3</sup> Comisión Europea (2013). Encuesta Europea a Centros Escolares: las TIC en Educación. Una visión comparativa del acceso, uso y actitudes hacia la tecnología en los centros escolares europeos. European School net and University of Liege. <https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/pillar-6-enhancing-digital-literacy-skills-and-inclusion>.

por pizarras digitales o se han implementado ‘intranets’ para la divulgación de los contenidos de las materias. Sin lugar a dudas, se trata de una clara muestra de que las tecnologías en sí no producen innovación educativa. Sólo asociadas a adecuadas prácticas educativas pueden ser una gran fuente de posibilidades de aprendizaje contextualizado.

En el modelo EEES, dentro de la formación básica que deben adquirir en las titulaciones de grado de ingeniería, está presente la competencia “*Capacidad de visión espacial y conocimiento de las técnicas de representación gráfica, tanto por métodos tradicionales de geometría métrica y geometría descriptiva, como mediante las aplicaciones de diseño asistido por ordenador*”<sup>4</sup>.

Es necesario, por tanto, vincular la incorporación de estas nuevas tecnologías al cambio metodológico que se está dando en nuestras universidades con la incorporación al EEES (MEC, 2006) y analizar cómo influyen estas herramientas en el cambio de paradigma educativo, centrado en el estudiante y en el logro de competencias.

## 3.2 Educación basada en competencias

Para alcanzar los objetivos mencionados anteriormente, se debería facilitar el acceso a nuevos planteamientos pedagógicos y didácticos y fomentarlos para propiciar la adquisición de conocimientos prácticos, competencias y aptitudes para la comunicación, el análisis creativo y crítico, la reflexión independiente y el trabajo en equipo en contextos multiculturales, en los que la creatividad exige combinar el saber teórico y práctico tradicional o local con la ciencia y la tecnología de vanguardia (UNESCO, 1998).

La educación basada en competencias es una nueva orientación educativa que pretende dar respuestas a la sociedad de la información. El concepto de competencia, tal y como se entiende en la educación, resulta de las nuevas teorías de cognición y básicamente significa saberes de ejecución. Puesto que todo proceso de “conocer” se traduce en un “saber”, entonces es posible decir que son recíprocos competencia y saber: saber pensar, saber desempeñar, saber interpretar, saber actuar en diferentes escenarios, desde sí y para los demás (dentro de un contexto determinado). (Paykeday, T.; Chomsky, N. 1985), a

---

<sup>4</sup> Boletín Oficial del estado. BOE-fechas 18-19 y 20 de Febrero de 2009.

partir de las teorías del lenguaje, instauro el concepto y define competencias como la capacidad y disposición para el desempeño y para la interpretación.

La educación basada en competencias (Holland, 1966-97) se centra en las necesidades, estilos de aprendizaje y potencialidades individuales para que el alumno llegue a manejar con maestría las destrezas señaladas por la industria. Formula actividades cognoscitivas dentro de ciertos marcos que respondan a determinados indicadores establecidos y asienta que deben quedar abiertas al futuro y a lo inesperado. De esta manera es posible decir, que una competencia en la educación, es una convergencia de los comportamientos sociales, afectivos y las habilidades cognoscitivas, psicológicas, sensoriales y motoras que permiten llevar a cabo adecuadamente un papel, un desempeño, una actividad o una tarea. (Gardner, 2000), por ejemplo, en su Teoría de las Inteligencias Múltiples distingue de la siguiente manera las competencias que deben desarrollar los alumnos en el área del arte:

- Producción. Hacer una composición o interpretación musical, realizar una pintura o dibujo, escribir imaginativamente o creativamente.
- Percepción. Efectuar distinciones o discriminaciones desde el pensamiento artístico.
- Reflexión. Alejarse de la propia producción e intentar comprender los objetivos, motivos, dificultades y efectos conseguidos.

Como se puede apreciar, Gardner señala que quien se educa para producir artísticamente debe construir percepciones que van más allá de las habilidades de saber mirar, observar, captar y que, por lo tanto, las otras habilidades conjuntas a la competencia “construir percepciones” son: saber distinguir y discriminar desde el pensamiento artístico y desde un marco conceptual que fundamente la relación entre las habilidades, los procesamientos cognitivos y los valores. Así, las competencias se acercan a la idea de aprendizaje total, en la que se lleva a cabo un triple reconocimiento:

- Reconocer el valor de lo que se construye.
- Reconocer los procesos a través de los cuales se ha realizado tal construcción (meta cognición).

- Reconocerse como la persona que ha construido.

La comunidad universitaria, en el proceso de cambio debe diseñar los nuevos títulos, la clasificación de las competencias, su diversidad, su terminología, con el fin de elaborar coherentemente y de acuerdo a los principios europeos los planes de estudio. Así, las competencias se estructuran en torno a dos grandes grupos:

a) **Competencias genéricas o transversales:** Se trata de competencias que de una u otra forma son necesarias y comunes a todos los grados, es decir, deberán desarrollarse potencialmente en todos los estudios, con el fin de dar el máximo de garantías de formación al egresado, bien para continuar su carrera universitaria o bien para incorporarse al mundo laboral. Se definen como habilidades necesarias para ejercer cualquier profesión de un modo eficaz y productivo. Se han dividido en tres grandes bloques: instrumentales<sup>5</sup>, sistémicas<sup>6</sup> y personales o interpersonales<sup>7</sup>, terminología propuesta por el proyecto Tuning<sup>8</sup>.

b) **Competencias específicas:** Son diferentes entre todas las titulaciones; hacen referencia al corpus de conocimientos de diversos tipos que configuran la especificidad temática de cada grado. Se trata, por tanto, de competencias que caracterizan a una profesión, son las que en último término llevan a la formación concreta para la que habilita cada grado y, con ello, son las que se exigirán para el desempeño específico de cada profesión.

También según el proyecto Tuning fueron divididas en tres grandes bloques: disciplinares (saber), procedimentales o instrumentales (saber hacer) y actitudinales (ser). Los dos primeros tipos están íntimamente vinculadas a lo específico de cada grado; las competencias actitudinales se relacionan más, en cierto modo, con las sistémicas y con las personales.

---

<sup>5</sup> Algunas de las competencias instrumentales son: *Aplicación de los conocimientos a sus tareas profesionales, defendiendo argumentos y resolviendo problemas; Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica; Conocimientos de una segunda lengua; Capacidad de análisis y de síntesis; Planificación y gestión del tiempo; Dominio de las TIC.*

<sup>6</sup> Algunas de las competencias sistémicas son: *Habilidad para buscar y seleccionar adecuadamente en las fuentes de documentación, tanto por medio de los recursos bibliográficos en soporte tradicional (libros, revistas, etc.), como a través del material en Red (Internet, revistas digitales, Webs, etc.); Capacidad para aprender autónoma y suficientemente, con el objeto de abordar estudios superiores y seguir formándose a lo largo de toda la vida laboral (formación continua); Capacidad de reflexionar de manera crítica y personal, incluyendo toma de decisiones que coadyuven a la resolución de problemas, etc.*

<sup>7</sup> Entre las competencias personales pueden citarse: *Capacidad de trabajar en equipo, ya sea disciplinar o interdisciplinariamente; Desarrollo de la Capacidad de liderazgo; Apreciación de la diversidad y de la multiculturalidad; Habilidad para trabajar de forma autónoma; Compromiso ético con la diversidad lingüística y cultural, entre otras.*

<sup>8</sup> <http://www.tuning.unideusto.org/tuningeu/index.php?option=content&task=view&id=173>

### 3.3 La adquisición de las competencias y la motivación

Para que las competencias sean una realidad es necesario un cambio de perspectiva y, sobre todo, una metodología docente que innove con respecto al sistema educativo anterior. Esa renovación puede ser efectiva si las acciones expresadas por los verbos que hasta el momento han caracterizado el sistema educativo (saber, conocer, dominar, comprender, aprender, empollar, memorizar) se amplían con nuevos verbos llenos de contenidos semánticamente más variados (analizar, aplicar, evaluar, catalogar, comunicar, crear, desarrollar, diagnosticar, diferenciar, dirigir, diseñar, elaborar, hacer, gestionar, ejercitar, formular, integrar, interpretar, mostrar, investigar, planificar, razonar, resolver, respetar) (Montero M., 2008).

En la educación, la motivación se considera determinante y clave en el aprendizaje (Schunk, 2012), utilizándose para mejorar la atención y el esfuerzo que los estudiantes dedican a las actividades de aprendizaje (Deci E. L., 1991). La palabra motivación se define aún de un modo progresivo, desde el punto de vista conductista hasta las orientaciones cognitivas actuales. El estudio de la motivación es complicado debido a la gran cantidad de teorías a analizar como de investigaciones realizadas sobre el tema (Maslow, 1943) (Stipek, 1993).

¿Es necesaria la motivación para que haya aprendizaje? Existen posiciones que varían desde la afirmación que ningún aprendizaje se realizará, si no existe motivación, hasta la negación completa de la motivación (Ausubel D. 1981). Desde el punto de vista del docente la motivación significa conseguir que el estudiante haga algo por medio de la promoción y sensibilización (Campanario, 2005), con lo que motivar supone predisponer al estudiante a participar activamente en las actividades docentes que se dan en el aula. El propósito de la motivación consiste en despertar el interés y dirigir los esfuerzos para alcanzar las metas definidas.

Podemos, de forma general, dividir la motivación en dos tipos básicos: la motivación intrínseca y la extrínseca.

La motivación **intrínseca**, (Ryan R.; Deci, E., 2000) se manifiesta en las siguientes actitudes:

**Competencia:** Sentir la capacidad para superar los obstáculos.

**Autonomía:** Sentir que se tiene el control, la decisión.

**Afinidad:** La actividad está conectada conmigo y con un propósito.

La motivación **extrínseca** (Skinner, 1976) se centra en las recompensas para dirigir y la conducta de aprendizaje de control. Ed Deci y Richards Ryan (Deci E. L., 2001) clasifican los motivadores extrínsecos en:

**Regulación externa:** Alguien determina lo que debe hacerse.

**Introyección:** Las motivaciones externas las convertimos como propias e internas.

**Identificación:** Personalizar la motivación externa.

### 3.4 Fundamentos y teorías educativas y del aprendizaje

El aprendizaje se ha definido por muchos teóricos a lo largo del tiempo. La siguiente definición incorpora esas ideas principales comunes: "El aprendizaje es un cambio perdurable en la conducta o en la capacidad de comportarse de una determinada manera, la cual resulta de la práctica o de alguna otra forma de experiencia" (Schunk, 1991). Las corrientes principales que se dividen las diversas teorías del aprendizaje se resumen en:

**Conductismo.** El conductismo iguala al aprendizaje con los cambios en la conducta observable, bien sea respecto a la forma o a la frecuencia de esas conductas (Peggy, A.; Tomothy, J. 1998). El aprendizaje se logra cuando se demuestra o se exhibe una respuesta apropiada a continuación de la presentación de un estímulo ambiental específico. Por ejemplo, cuando le presentamos a un estudiante la ecuación matemática " $2 + 4 = ?$ ", el estudiante contesta con la respuesta "6". La ecuación es el estímulo y la contestación apropiada es lo que se llama la respuesta asociada a aquel estímulo. Los elementos claves son, entonces, el estímulo, la respuesta, y la asociación entre ambos. La preocupación primaria es cómo la asociación entre el estímulo y la respuesta se hace, se refuerza y se mantiene. El conductismo focaliza en la importancia de las consecuencias de estas conductas y mantiene que las respuestas a las que se les sigue con un refuerzo tienen mayor probabilidad de volver a sucederse en el futuro. No se hace ningún intento de determinar la estructura del conocimiento de un estudiante, ni tampoco de determinar cuáles son los procesos mentales que ese estudiante necesita usar. Se caracteriza al estudiante como reactivo a las condiciones del ambiente y no como sucede en otras

teorías, donde se considera que asume una posición activa en el descubrimiento del mismo.

**Cognoscitivismo.** Las teorías cognitivas enfatizan la adquisición del conocimiento y estructuras mentales internas y, como tales, están más cerca del extremo racionalista del continuum epistemológico (Bower y Hilgard, 1981). El aprendizaje se equipara a cambios discretos entre los estados del conocimiento más que con los cambios en la probabilidad de respuesta. Las teorías cognitivas se dedican a la conceptualización de los procesos del aprendizaje del estudiante y se ocupan de como la información es recibida, organizada, almacenada y localizada. El aprendizaje se vincula, no tanto con lo que los estudiantes hacen, sino con qué es lo que saben y cómo lo adquieren (Jonassen 1991). La adquisición del conocimiento se describe como una actividad mental que implica una codificación interna y una estructuración por parte del estudiante. El estudiante es visto como un participante muy activo del proceso de aprendizaje.

**Constructivismo.** El constructivismo es una teoría que equipara al aprendizaje con la creación de significados a partir de experiencias (Bednar et al. 1991). Aun cuando el constructivismo se considera una rama del cognitivismo (ambas teorías conciben el aprendizaje como una actividad mental), se diferencia de las teorías cognitivas tradicionales en varias formas. La mayoría de los psicólogos cognitivos consideran que la mente es una herramienta de referencia para el mundo real. Los constructivistas creen que la mente filtra lo que nos llega del mundo para producir su propia y única realidad (Jonassen 1991). Así como los racionalistas de la época de Platón, se considera a la mente como la fuente de todo significado, sin embargo, tal como con los empiristas, se considera que las experiencias individuales y directas con el medio ambiente son críticas. Los constructivistas cruzan ambas categorías enfatizando la interacción entre estas dos variables. Los constructivistas no comparten con los cognitivistas ni con los conductistas la creencia que el conocimiento es independiente de la mente y puede ser "representado" dentro del alumno. Los constructivistas no niegan la existencia del mundo real, pero sostienen que lo que conocemos de él nace de la propia interpretación de nuestras experiencias. Los humanos crean significados, no los adquieren. Dado que de cualquier experiencia pueden derivarse muchos significados posibles, no podemos pretender lograr un significado predeterminado y "correcto". Los estudiantes no transfieren el conocimiento del mundo externo hacia su memoria; más bien construyen interpretaciones

personales del mundo basándose en las experiencias e interacciones individuales. En consecuencia, las representaciones internas están constantemente abiertas al cambio. No existe una realidad objetiva que los estudiantes se esfuercen por conocer. El conocimiento emerge en contextos que le son significativos. Por lo tanto, para comprender el aprendizaje que ha tenido lugar en un individuo, se debe examinarse la experiencia en su totalidad (Bednar et al. 1991).

**Conectivismo.** (Siemens, G. 2004) El conectivismo es la integración de principios explorados por las teorías de caos, redes, complejidad y auto-organización. El aprendizaje es un proceso que ocurre en el interior de ambientes difusos de elementos centrales cambiantes que no están por completo bajo control del individuo. El aprendizaje (definido como conocimiento aplicable<sup>9</sup>) puede residir fuera de nosotros, está enfocado en conectar conjuntos de información especializada, y las conexiones que nos permiten aprender más tienen mayor importancia que nuestro estado actual de conocimiento.

Complementariamente podemos entender otras categorías y definiciones como por ejemplo:

**Las metodologías de enseñanza** (Alfaro Rocher, 2006) o educativas suelen girar alrededor de las teorías del aprendizaje. Las principales metodologías de enseñanza son: clases magistrales, clases prácticas, clases de laboratorio, tutorías, evaluación, planificación, trabajos individuales o en grupo. Otras no reconocidas pero de uso habitual son: la tutoría proactiva, el trabajo cooperativo y el ciclo de Kolb.

**La metodología del Ciclo de aprendizaje de Kolb** (Kolb, 1975), se basa en la acción como efecto transformador del conocimiento; entre acción y acción se relaciona el resultado con los conocimientos abstractos al pasar por las siguientes fases: Actuar, Reflexionar, Teorizar y Experimentar.

**La teoría de las Inteligencias Múltiples de Howard Gardner** (Gardner, 2000) distingue las competencias que deben desarrollar los alumnos: Producción, Percepción y Reflexión.

---

<sup>9</sup> *Actionable knowledge*, en el original. El sentido del término se refiere a conocimiento susceptible de ser aplicado o utilizado de manera inmediata. N. del T.

**La taxonomía de Bloom** (Bloom B., 1979) permite clasificaciones sistemáticas de los procesos de pensamiento y el aprendizaje: Recordar, Entender, Analizar, Evaluación, y Creación

### 3.5 Metodologías actuales

La introducción del crédito europeo (ECTS) en el sistema universitario español implica importantes diferencias con respecto al crédito vigente, ya que no es una mera medida de duración temporal de las clases impartidas por el profesor, sino una unidad de estimación del volumen de trabajo total del alumno, expresado en horas, que incluye tanto las clases, teóricas o prácticas, como el esfuerzo dedicado al estudio y a la preparación y realización de exámenes. Además es importante destacar el carácter que tendrán las asignaturas en el nuevo entorno EEES, donde se plantea la necesidad de que el docente asuma un papel de facilitador y gestor del proceso de aprendizaje del estudiante, proporcionándole formación, material y asistencia tutorial supervisado por un sistema de calidad de la enseñanza. En este contexto, son fundamentales las herramientas que asistan a la actividad docente del profesor y aprendizaje del alumno.

Según lo descrito en el apartado anterior y observando el uso que se hace de estos fundamentos y teorías docentes, siguen apareciendo nuevas metodologías, modalidades y tecnologías de apoyo a los profesores como herramientas fundamentales para el logro de las competencias y habilidades necesarias para los alumnos. Las propuestas más actuales están basadas en el modo en cómo se adquiere el conocimiento (Lundvall, 1994): haciendo (Learning by doing), usando (Learning by using), interactuando (Learning by interacting) y/o buscando (Learning by searching). Éstas se pueden clasificar en:

Modalidades de aprendizaje

- **E-Learning/OLE** (Online Learning Environment/aprendizaje a distancia) (Garrison D. R., 2005) (Anderson, 2008) (García-Peñalvo, 2015)
- **M-learning** (Mobile Learning/aprendizaje móvil) (Quinn, 2013) (Geddes, 2004) (Camacho, 2011) (Grané, 2013).
- **B-learning** (Blended Learning/aprendizaje semi-presencial) (Cabero-Almenara, 2004) (Garrison D. R., 2004).

- **ODL** (Online Distance Learning/educación a distancia) (Bates, 1997) (García Aretio, 2014).
- **MOOC** (Massive Online Open Course/curso en línea masivo y abierto) (Yuan, 2013) (Fidalgo, 2013) (LiyanaGunawardena, 2013) (Clark, 2013)

Metodologías:

- **PBL/ABP** (Problem Based Learning/aprendizaje basado en problemas) (Coll C. M., 2008) (Luis A. Branda, 2009) (Ortiz, 2003) (Penzo, 2010) (Karlin, 2001).
- **GBL** (Gamed Based Learning/aprendizaje basado en juegos) (Dziorny, 2007) (Egenfeldt-Nielsen S. L., 2009) (Prensky M., 2001) (Egenfeldt-Nielsen S. L., 2009).
- **QBL** (Quest Based Learning/aprendizaje basado en búsquedas) (Haskell, 2013).
- **Situated Learning** (Redes sociales en el aula) (Coll C. M., 2008)
- **Flipped Classroom** (Aprendizaje invertido/Clase invertida)
- **Trabajo en equipo**

Tecnologías de apoyo

- **VLE** (Virtual Learning Environments/entornos virtuales de aprendizaje) (Salinas, 2004).
- **PLE** (Personal Learning Environment/entorno personal de aprendizaje) (Castañeda, 2013)
- **CSCL** (Computer Supported Collaborative Learning/aprendizaje colaborativo apoyado por ordenadores) (Stahl, 2006) (Resta, 2007) (Onrubia, 2008).
- **RA** (Realidad Aumentada)
- **RV** (Realidad Virtual)

### 3.6 Technology Enhanced Learning y el Método TPACK

El aprendizaje mejorado tecnológicamente (Technology Enhanced Learning) (Villagrasa, 2016) puede aumentar la motivación, la satisfacción y la adquisición de competencias espaciales y otras de específicas relacionadas con la visualización arquitectónica. La RV y la RA se emplearon en dicha tesis para la evaluación de competencias en el ámbito educativo de la Arquitectura y la Multimedia

Según el informe Horizon<sup>10</sup> la previsión de desarrollos importantes en tecnología educativa para la educación superior es la siguiente:

- 1 año o menos: implementación tecnológica con sistemas Bring Your Own Device (BYOD, Bring Your Own Technology (BYOT), el análisis del aprendizaje y aprendizaje adaptativo.
- 2 o 3 años: se acelerará la implementación de la RV y la RA. Aunque los usos más frecuentes de estas tecnologías se hayan dado hasta ahora en el sector de consumo, las herramientas para crear aplicaciones de este tipo son cada vez más fáciles de usar y más viables en el ámbito educativo.
- Finalmente los ‘Makerspaces’ o talleres que proporcionan la tecnología y las herramientas para convertir ideas en objetos reales serán las herramientas utilizadas como por ejemplo la impresión 3D y prototipaje.

Para el desarrollo de los proyectos descritos en los artículos de la presente tesis, el modelo docente aplicado es la metodología TPACK o modelo Conocimiento Tecnológico Pedagógico del Contenido, Koehler, M., Mishra, P. (2008), como una reflexión acerca de lo que los docentes deben saber para entender cómo integrar de forma efectiva la tecnología en sus clases. El sistema reconoce la importancia de 3 componentes fundamentales: contenido, pedagogía y tecnología, centrandolo el foco en las múltiples interacciones que existen entre ellos: Conocimiento de contenidos (CK), Conocimiento pedagógico (PK), Conocimiento tecnológico (TK), Conocimiento Pedagógico del Contenido (PCK), Conocimiento Tecnológico del Contenido (TCK), Conocimiento

---

<sup>10</sup> <http://www.nmc.org/publication/nmc-horizon-report-2016-higher-education-edition/>

Tecnológico Pedagógico (TPK) y Conocimiento Tecnológico Pedagógico del Contenido (TPCK).

Los estudiantes (nativos digitales) aceptan mejor este tipo de experiencia de aprendizaje colaborativo (Shen, 2013) que con las metodologías tradicionales.

## 3.7 Representación Gráfica

La evolución de la formación del Diseño Asistido por Ordenador (DAO) en las universidades de España ha sido gradual desde finales de los años 90. Los planes de estudio han integrado progresivamente asignaturas instrumentales con software DAO. Ingenierías y Arquitectura han adoptado los ordenadores en materias de Expresión Gráfica en diversos cursos de las carreras superiores y técnicas.

Partiendo del hecho que todas las universidades españolas disponen de plataformas virtuales en la que los profesores ponen a disposición de los estudiantes apuntes, prácticas, ejercicios, actividades interactivas e incluso tutorías a distancia (tutorías virtuales) y la iniciativa de algunos profesores de disponer de un espacio web para el desarrollo docente de las asignaturas, son un indicativo de que la metodología docente está cambiando.

### 3.7.1 Ingeniería

La ingeniería industrial adoptó inicialmente la implementación de sistemas informáticos en las universidades españolas para la mejora del desarrollo docente de las asignaturas (plataformas virtuales, espacios web, etc.), así como en el uso de estas herramientas en el modelado 3D de los proyectos. Las aplicaciones multimedia e interactivas han favorecido el rendimiento y la velocidad del aprendizaje, así como aptitudes personales e intrapersonales de los estudiantes.

Los sistemas multimedia pueden mejorar la adquisición de los conocimientos, la motivación y su participación en el proceso, según lo demuestra la experiencia realizada en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de San Sebastián por (Garmendia et al, 2001). De esta manera, la utilización de sistemas multimedia en el área de Expresión Gráfica (EG) fue una oportunidad de mejora de la calidad de la docencia. Otro ejemplo de la aplicación de las metodologías basadas en plataformas on-line fue la realizada en la Universidad de las Palmas de Gran Canarias por los profesores (García, Martín, Suárez, Pérez, & Suárez. 2002). Éstos desarrollaron la herramienta SAD (sistema

de apoyo al dibujo) para impartir la docencia de la asignatura de EG a la vez que se utilizó como recurso de estudio fuera del aula por los alumnos.

La necesidad de aproximar el conocimiento desde las nuevas plataformas digitales, ha obligado a adaptar el material teórico a formatos multimedia. Se potencia el estudio de la materia fuera del aula mediante: sistemas multimedia, tutorías interactivas, animación, sistemas hipermedia, visualización, etc. Algunos ejemplos demuestran resultados favorables en la aplicación de estas metodologías, como es el caso de los profesores (Álvarez Peñín, Del canto, Charro, Rubio, García, & Suárez, 2001) en la implementación de sistemas multimedia para la reducción de sistemas docentes tradicionales. Otras propuestas se centran más en la materia de EG desde formatos multimedia y tutoriales interactivos para dibujo de vistas como el trabajo de los profesores (Álvarez Peñín, Pando, García, & Pérez, 2006) y (Álvarez Cuervo, Rocés, & Alonso, 2006). La impartición de docencia en dibujo técnico es una de las más adecuadas para estos medios como lo demuestra (Fernández, Reina, Mateo, & Sánchez, 1998) y el sistema diédrico, (Blanco, M. et al., 2006). Además de metodologías, se han creado herramientas con el propósito de mejorar la visualización (Ramos, García, Baños, & Melgosa, 2003) y como medio para la resolución de problemas (Garmendia, M., Gisasola, J., & Gorozika, J. 2004).

El apoyo de software técnico de modelado permite agregar módulos específicos sobre plataformas gráficas más potentes como AutoCAD para la manipulación de figuras 3D y la comprensión espacial de sus proyecciones (Mora, Palomo, García, & Marín 2001).

La habilidad en la capacidad de representación espacial requiere un aprendizaje de la capacidad de percepción espacial. Algunos de los profesores desarrollan herramientas específicas orientadas a corregir las deficiencias de los estudiantes en el campo de la EG. (Flórez, Rodríguez, & Alvarez, 2001). El formato de aplicación es en algunos casos con talleres de trabajo on-line (Ramos, García, Baños, Melgosa, García, & Sainz, 2001-02) y en otros, mediante la incorporación de RV (Suarez, Rubio, Gallego, & Martin, 2004).

El grupo de investigación REGEO<sup>11</sup> ha desarrollado la aplicación eCIGRO, que permite la generación de modelos tridimensionales a partir de bocetos a mano alzada sobre un dispositivo táctil, tipo tableta. Básicamente, esta aplicación construye sobre las líneas

---

<sup>11</sup> <http://www.regeo.uji.es/>

dibujadas a mano alzada por el usuario una malla de segmentos ortogonales, que define con cada vez más detalle la geometría del cuerpo a representar (Mataix, León, Reinoso, 2015)

Cabe destacar la Tesis doctoral del profesor (Font, J. 2007) donde realiza una recopilación y estudio de las herramientas docentes desarrolladas por profesores del área de EG entre el año 1998 y el año 2006.

Se puede extraer de los resultados de los trabajos expuestos en el ámbito de la ingeniería las siguientes conclusiones:

- Las metodologías basadas en las tecnologías aumenta la motivación de los estudiantes respecto a la asignatura.
- El uso de las herramientas mejora el rendimiento y la valoración global de la educación.
- Los recursos docentes que integran las nuevas tecnologías en el ámbito de la EG en la ingeniería mejoran la calidad de la docencia.

### 3.7.2 Herramientas para la Expresión Gráfica

La formación de las materias de EG se ha basado en medios tradicionales en sus inicios hasta evolucionar a sistemas informáticos. La tipología de los medios y de los contenidos a desarrollar son factores relacionados. De este modo, el planteamiento de los objetivos debe estar planteado con una estrategia adecuada considerando ambos factores. Se enumeran a continuación estrategias docentes basadas en estas herramientas:

**Formato papel.** El desarrollo de la habilidad espacial y las competencias de comprensión espaciales son similares y existen diversas metodologías de validación basadas en métodos gráficos sobre papel para desarrollarlas (Sorby S., 1999a)

**Aplicaciones multimedia y páginas Web.** Los contenidos que se basan en este formato son más próximos a los medios de uso cotidiano de los estudiantes. Por este motivo, les resulta más atractivo este tipo de formato, aumenta su motivación y favorece el rendimiento (Martin-Gutierrez, Martin-Dorta, Saorin, Contero, & Navarro 2008). Algunos de los ejemplos podemos encontrarlos en la recopilación de (Melgosa, Ramos, Baños, & García (2009).

**Software.** El estudio de geometría espacial es fundamental para potenciar el desarrollo del razonamiento y la habilidad espacial. El DAO 3D permite abordar este tema con profundidad y se ha demostrado que el modelado 3D desarrolla las habilidades espaciales. Las nuevas tecnologías pueden suponer un progreso para potenciar la capacidad de visión espacial y cuentan con la ventaja adicional de una mayor motivación del alumno (Torner Ribé, 2009) (Martín-Dorta, Saorín, & Contero, 2008a).

**Videoconsolas y Videojuegos.** Las tareas que tienen una alta componente espacial (rotar, trasladar, escalar, etc.) están presentes en los videojuegos, así como acciones en las que el usuario debe desplazar al personaje en multitud de combinaciones posibles. Se considera que el uso de los dispositivos adicionales (mandos, volantes, etc.) pretende una coordinación entre manos o pies con las tareas mentales (Cagnon, D. 1985).

**Prototipado rápido y modelos reales.** Los modelos físicos aceleran el proceso de aprendizaje espacial según lo demuestran experiencias realizadas en cursos de EG (Miller C., 1992), (Dejong, 1977). El uso de impresoras 3D para la generación de prototipos rápidos en el aula revela que hay alumnos que aprenden mediante el tacto frente a los métodos tradicionales basados en lo visual Czapka et al, (2002). Los alumnos visuales aprenden a través de la modalidad de la vista, de forma que la metodología tradicional de explicar en pizarra e impresiones en papel no les supone una barrera en el aprendizaje. Los alumnos que aprenden a través de la modalidad del contacto, precisan de elementos reales que puedan manipular para ayudar al proceso mental de visualización. Físicamente puede rotar el objeto para verlo desde cualquier punto de vista sin necesidad de hacer el esfuerzo mental.

### 3.7.3 Tecnologías de visualización. RA y RV

Mención aparte, dado el enfoque de la presente tesis, merecen los trabajos desarrollados con las tecnologías de RA/RV. Siguiendo con la ordenación anterior:

**Realidad Aumentada.** Esta tecnología consiste en la visión a través de un dispositivo tecnológico, directa o indirecta, de un entorno físico del mundo real, cuyos elementos se combinan con elementos virtuales para la creación de una realidad mixta en tiempo real<sup>12</sup>. El término acuñado por Caudell, T. P. y David W. Mizell. (1992) estaba orientado inicialmente para la visualización de información digital en procesos de fabricación. La

---

<sup>12</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Realidad\\_aumentada](https://es.wikipedia.org/wiki/Realidad_aumentada)

RA introduce una nueva variable en el campo del desarrollo de las habilidades espaciales, se trata que los objetos virtuales puedan ser manipulados por el usuario interactuando con los contenidos desde un dispositivo móvil.

Algunas referencias de aplicaciones en el ámbito de la comprensión espacial de geometría son los desarrollos como Construc3D, de los profesores Kaufmann, Steinbügl, Dünser, & Glück, (2003), o la aplicación AR-DEHAES del profesor Martín-Gutiérrez, Jorge, et al. (2010).

**Realidad Virtual.** Esta tecnología se refiere a un entorno generado mediante tecnología informática, que crea en el usuario la sensación de estar inmerso en él. Dicho entorno es contemplado por el usuario a través normalmente de un dispositivo conocido como gafas o casco de realidad virtual<sup>13</sup>. El término de RV es difícil de datar ya que se puede considerar que el origen pueden ser imágenes panorámicas o la fotografía estereoscópica. Posiblemente, el primer ejemplo de RV fue el simulador de vuelo “Link Trainer” del profesor Mills Jr Edward, K. (1941). La base de la RV es la creación de una experiencia inmersiva y que le permita al usuario interactuar con objetos. Este concepto es enriquecedor desde el punto de vista del entrenamiento en habilidades espaciales. Algunas estudios demuestran que entrenar en un entorno virtual en el que se pueden manipular los objetos tridimensionales y rotarlos para conocerlos desde cualquier ángulo, permite mejor reconocimiento de los objetos que si se entrenan con material en papel James, Humphrey, & Vilis, (2002). En el campo de las habilidades espaciales se ha desarrollado mediante RV el test MCT (Mental Cutting Test) Hartman, Connolly, Gilger, Bertoline, & Heisler, (2006).

La RV es una forma de producir motivación desde la gamificación de contenidos en grados de multimedia. El recorrido del espacio mejora el aprendizaje como lo demuestran los proyectos desarrollados por los propios estudiantes, Villagrasa, S (2016)

#### 3.7.4 CAD vs BIM

Desde el origen de la formación del arquitecto, la representación ha formado parte indispensable de las competencias propias en su actividad académica. Las tecnologías han aportado en los últimos años nuevas herramientas aplicables a este ámbito,

---

<sup>13</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Realidad\\_virtual](https://es.wikipedia.org/wiki/Realidad_virtual)

favoreciendo la exploración de nuevas metodologías y técnicas de representación digital arquitectónica.

Desde los primeros inicios de la era informática, se han incorporado paulatinamente los programas de diseño asistido por ordenador CAD para la redacción de proyecciones gráficas de los proyectos. Posteriormente, la aparición de la fotografía digital incorporó procesos gráficos orientados a la edición de imágenes y la presentación de resultados finales o de procesos de creación de proyectos. Los programas de representación de imágenes virtuales evolucionaron hacia sectores como el diseño o las producciones cinematográficas de animación. Esto se percibe como una influencia directa en el resto de ámbitos con un alto contenido gráfico. Este es el caso de la Arquitectura, la Ingeniería, la Medicina, etc.

Una breve introducción a la evolución del CAD es necesaria, así en 1963 Ivan Sutherland escribió en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) el primer programa de computador capaz de dibujar una línea en una pantalla de rayos catódicos, el Sketchpad<sup>14</sup>. Había nacido el CAD.

Las primeras aplicaciones del computador en la arquitectura no pertenecieron al campo gráfico, Sainz y Valderrama (1992). Se centraron en la solución de problemas de tipo compositivo a partir de la potencia de cálculo del computador. Arquitectos como Christopher Alexander pensaron que determinando todos los parámetros de una situación compleja, e introduciéndoles adecuadamente al computador éste encontraría la solución óptima y más económica, Alexander (1964).

El cambio social-económico-político de la situación mundial a mediados de los años setenta acabó con estos entusiasmos. Dejó una cierta sensación de desilusión sobre la verdadera capacidad de los computadores. Esta sensación arraigó con fuerza entre los arquitectos.

Los primeros sistemas gráficos eran de carácter general. La informática gráfica para arquitectura fue un derivado de los desarrollos pensados para otros campos de actividad o una adaptación de programas genéricos de dibujo plano o de diseño en tres dimensiones.

---

<sup>14</sup> <https://en.wikipedia.org/wiki/Sketchpad>

El uso de programas genéricos se hacía cada vez más difícil. Un programa para dibujar en dos dimensiones (2D) requiere pocas opciones especiales para la arquitectura. No presenta demasiadas diferencias entre unos modos de trabajar y otros. Sin embargo un programa de diseño en tres dimensiones (3D) necesita una especialización más decidida. Difícilmente se encuentra fuera de la arquitectura, por ejemplo, la necesidad de calcular perspectivas cónicas y sombras. Los primeros programas específicos para arquitectura se crearon en universidades británicas pero no quedaban al alcance de la mayoría de los arquitectos.

A mediados de los años ochenta el panorama cambió con la aparición del computador personal (Personal Computer o simplemente PC) de IBM. Supuso la caída de los costes y el aumento de prestaciones que han convertido los computadores en máquinas accesibles y asequibles para el trabajo de los arquitectos. A la máquina lanzada por IBM en 1981<sup>15</sup> se debe el nacimiento del concepto de “compatibilidad”, que indica que gran cantidad de fabricantes producen modelos de funcionamiento casi idéntico, o “compatible”, lo cual convirtió al PC en un estándar. La compatibilidad, la creciente cantidad de fabricantes y la aparición de diseñadores de programas independientes permitieron la comercialización de gran cantidad de programas de todo tipo.

Aún hoy estamos en el proceso de adaptación del arquitecto a la herramienta informática. Los últimos años han supuesto la aparición de programas cada vez más especializados en la arquitectura, tanto en la automatización del dibujo como para la ayuda al propio proyecto. El arquitecto ve los impresionantes resultados que el uso de la informática puede ofrecerle (documentación gráfica, multimedia, informes, etc.). El mercado crea nuevas versiones constantemente, reduciendo el tiempo de comercialización. Así el arquitecto individual está más al día que la escuela, y la feria comercial presenta más innovaciones que el congreso especializado.

Todavía actualmente el ordenador personal está considerado como un simple instrumento para facilitar la labor del arquitecto. Con ello, se pretende realizar el mismo trabajo que antes pero ahorrando tiempo y esfuerzo. No obstante, el medio informático está modificando también la calidad del propio trabajo mediante el uso de sistemas

---

<sup>15</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/IBM\\_Personal\\_Computer](https://en.wikipedia.org/wiki/IBM_Personal_Computer)

procedentes de entornos de fabricación industrial aplicados a la edificación llamados BIM (Building Information Modeling)<sup>16</sup>.

Las aplicaciones BIM pueden aplicar a todo el proceso de la construcción del edificio. Desde la concepción gráfica hasta la realización física. La mejora de las prestaciones de los programas informáticos ha permitido que el computador sea utilizado tanto como una herramienta de dibujo como una herramienta de apoyo en la génesis del proyecto. Las nuevas tecnologías abren el campo de aplicación del computador a la enseñanza, y a la comunicación y gestión del proyecto.

En el periodo de los años 90, las empresas distribuidoras de software formaban a los profesionales y los estudiantes aprendían este tipo de programas en academias. Finalmente los profesores de proyectos en las escuelas eran quienes menos conocían la herramienta informática. Este ciclo se está invirtiendo, en muchos casos porque los profesores son a la vez los profesionales que también trabajan en sus estudios, o porque los alumnos pasan a ser profesores. Sería preferible que los profesores universitarios sean quienes mejor conozcan tanto la herramienta informática como el modo de aplicarla en el auténtico objetivo del docente: el proyecto arquitectónico. Quienes forman en estas instituciones universitarias, aun siendo generalmente arquitectos, conocen más el instrumento, el programa informático, que el fin, proyectar con computador.

La clave está en la integración del computador en las escuelas de arquitectura. El uso de los computadores como una herramienta de trabajo no es únicamente un cambio de lápiz, ya que supone un cambio en el planteamiento del modo de concebir el proyecto, Madrazo, L. (1992).

En resumen, el diseño asistido por ordenador CAD inició una revolución en la arquitectura a nivel profesional en la década de los años 80 donde tuvo lugar una ‘transición’ de los sistemas gráficos convencionales basados en papel. La incorporación de los ordenadores a las oficinas técnicas y estudios de arquitectura favoreció la mejora y eficiencia en la redacción de los proyectos y la posibilidad de gestionar la información gráfica en un medio ágil y de un alto grado de especialización. Esto requirió de nuevos perfiles técnicos con competencias en medios informáticos que las universidades no

---

<sup>16</sup> <http://www.autodesk.com/solutions/bim/buildings/architecture>

estaban creando. Se plantea en ese momento la necesidad de modificar los planes de estudios para incorporar este tipo de formación a nivel académico.

La consolidación del uso de ordenadores en las facultades de arquitectura se realizó paulatinamente hasta que a finales de los años 90 ya formó parte del plan académico de las escuelas de arquitectura.

Las asignaturas de representación gráfica en la disciplina arquitectónica son de varios tipos: el dibujo artístico, la geometría descriptiva y el dibujo técnico son las más representativas. La aplicación de los conocimientos adquiridos en estas materias tiene un reflejo directo en el resto de asignaturas de proyectos arquitectónicos, urbanísticos o de construcción.

La evolución de los programas académicos de estas asignaturas favorece la aportación que los sistemas CAD podían hacer por la mejor eficacia de los resultados gráficos de estas herramientas.

### 3.8 Nuevas Tecnologías en educación de Arquitectura.

La presente tesis muestra nuevas estrategias docentes y las mejoras que aportan las nuevas tecnologías de la RA y la RV a los procesos formativos de los futuros arquitectos y urbanistas. El avance tecnológico en los últimos años y la aparición de nuevos dispositivos ha sido exponencial, situación que ha permitido gracias a la disminución de los costes, que sea fácil disponer de móviles y tabletas con capacidad de procesar información multimedia (fotografías, audio, video, modelos 3D, etc.), Glennan, T. K. & Melmed, A. (1996). En paralelo, los sistemas educativos 3.0 (que podríamos definir como aquellos donde el estudiante no solo es un actor pasivo sino activo a la hora de generar y gestionar contenidos), han tenido que adaptar sus estructuras académicas para dar cabida a las nuevas tecnologías colaborativas, Campbell, P.H., Milbourne, S., Dugan, L.M., & Wilcox, M. J. (2006); Rubens, N., Kaplan, D. & Okamoto, T. (2014). En dicha línea, podemos afirmar que este nuevo escenario puede tener consecuencias muy positivas en la exploración de estrategias docentes basadas en las últimas tecnologías como apoyo en las aulas.

Estas nuevas tecnologías basadas en la interacción y la visualización, están haciendo posible la interacción con los modelos arquitectónicos mediante software y hardware de

última generación. La combinación de modelos tridimensionales en el espacio real, o la visualización de entornos virtuales han ampliado la capacidad de representación del proyecto arquitectónico Vicent, L., Villagrasa, S., Fonseca, D., Redondo, E. (2015). La capacidad de mostrar un proyecto desde el proceso de ideación puede ampliarse con las nuevas tecnologías y orientarse a todo tipo de público, no solo académico, si no aquellos que no tienen relación con el ámbito técnico o de la Arquitectura Fonseca, D. Valls, F., Redondo, E. & Villagrasa, S. (2016), Milgram, P. & Kishino, F. (1994). En el proceso de formación de un estudiante de arquitectura hay valores como la accesibilidad universal Stephanidis, C. & Savidis, A. (2001), Fonseca, D., Redondo, E., Villagrasa, S., (2015), y la representación que están necesariamente integrados en el proceso proyectual. La información debe ser capaz de llegar a todo el público y con la máxima riqueza de matices para entender la idea que el arquitecto, o estudiante de arquitectura, quiere transmitir Hernández, J., Garcia, L., & Ayuga, F. (2004).

No podemos olvidar que la arquitectura es parte del patrimonio cultural de la humanidad y sus ejemplos más emblemáticos explican nuestra historia, Kersten, & Lindstaedt, (2012), Hall, M., & Zeppel, H. (1990). El acceso a la cultura es por lo tanto un derecho universal, Donnelly, J. (1984) y es necesario explorar todas aquellas herramientas que lo hagan posible. La representación de la arquitectura, los procesos constructivos, el urbanismo, etc., siempre han sido objeto de estudio de los grandes estudios clásicos hasta nuestros tiempos, con técnicas que han evolucionado con el paso del tiempo: la pintura, el dibujo, la fotografía, el video o la infografía. En la actualidad se puede observar un auge de nuevas tecnologías que abren nuevas expectativas, como por ejemplo los dispositivos móviles y las gafas inteligentes, Menzel, K., Keller, M. & Eisenblätter, K. (2004), Woodward, Hakkarainen, Korkalo, Kantonen, Aittala, Rainio, & Kähkönen, (2010).

Por otro lado, y gracias al desarrollo tecnológico sufrido en los últimos años, el cual ha desembocado en una reducción de los costes, las tecnologías de visualización se han implantado en todos los niveles de la sociedad, comenzando en la educación a tempranas edades y acabando en su uso profesional. En la actualidad, los alumnos de primaria, secundaria, bachillerato, ciclos formativos y sin olvidar incluso los de infantil, están en contacto continuo con dispositivos móviles conectados a Internet. Tanto los dispositivos como las aplicaciones han simplificado todas las tareas, desde las más cotidianas, hasta

las más complejas, generando incluso una dependencia que sin control puede degenerar en adicción. En este ámbito es fácil encontrar a día de hoy multitud de estudios que abarcan desde los procesos de diseño, a la implantación y finalmente los estudios de usabilidad de cómo se deben utilizar en la clase todo tipo de tecnologías. El cómo mejora las competencias, cuáles de ellas se ven más afectadas, y en definitiva cómo adaptar su uso a una mejora educativa son campos actuales con una carencia de trabajos que permitan ahondar en los beneficios y problemas que aportan a nuestros estudiantes.

La trayectoria de los artículos, que iniciaron el compendio de la presente tesis, muestra como punto de partida la representación de la arquitectura a través de los sentidos. La comprensión de la obra se obtiene a partir de la experimentación, Rasmussen, S. E. (1959), y la percepción a través de parámetros como la proporción, la forma, etc. La búsqueda de esta experiencia a través de la tecnología complementa los sistemas tradicionales de representación. Inicialmente, los ejercicios se orientaron al público con discapacidades visuales, Navarro, I. & Fonseca, D. (2010), Navarro, I & Fonseca, D. (2012), y los siguientes proyectos abordan la creación de sistemas de composición de modelos mediante RA y RV, Redondo, E., Fonseca, D. Giménez, L., Santana, G., Navarro, (2012). Otro factor importante en la representación de modelos 3D es la escala y el estudio y comprensión en la variación de los múltiples parámetros que permiten visualizar cualquier propuesta. En conclusión, los diversos casos de estudio se enfocan desde diferentes perspectivas, partiendo del aula en una combinación en tiempo real con maquetas, llegando a propuestas a escala real mediante RA en espacios abiertos. Estos estudios, como veremos posteriormente, nos permiten afirmar que los actuales estudiantes están capacitados para empezar los procesos formativos ligados al uso de tecnologías avanzadas de visualización incluso antes de llegar a la formación universitaria. Gracias a la motivación en el uso de los mismos y la simplicidad de dispositivos y aplicaciones, podemos afirmar que el dominio de la gestión interactiva de procesos de visualización es una competencia que sin duda se puede desarrollar en épocas educativas más tempranas, pudiendo en los grados universitarios dejar de lado estos aspectos para centrarse en el desarrollo de competencias más específicas ligadas a los estudios que se curse



## 4 Cronología general

En el presente apartado se muestra la distribución temporal de los artículos por compendio y su relación cronológica con otros artículos, publicaciones en libros, conferencias y congresos durante el periodo de investigación hasta la actualidad.

Cada contribución se enumeran según el siguiente código ID: N°Orden-Tipo-Siglas

ID

Tipo de publicación

---

C	Conferencia
Co	Congreso
L	Libro
P	Proyecto
R	Revista

Siglas

---

ACE	Architecture, City and Environment
AIST	Advances in Information Systems and Technologies
AR	Arquitectura Revista
CHB	Computers in Human Behavior
CISCI	Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática
Com&Ped	Comunicación y Pedagogía
DICTAP	Digital Information and Communication Technology and Its Applications
FIE	Frontiers in Education Conference
IADIS	International Association for Development of the Information Society
ICHCI	International Conference on Human-Computer Interaction
IJTHI	International Journal of Technology and Human Interaction
IMSCI	International Multi-Conference on Systemic, Cybernetics and Informatics
Information	INFORMATION-An International Interdisciplinary Journal
JITAE	International Journal of Information Technology and Application in Education
JSCI	Journal of Systemic, Cybernetics and Informatics
MINECO	Ministerio de Economía y Competitividad
RISCI	Revista Iberoamericana de Sistemas, Cibernética e Informática
RUSC	Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento
SIGRADI	Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital
SIIE	Simposio Internacional de Informática Educativa

SINTICE	Simposio Internacional de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la Educación
SITI	Sistemas e Tecnologias de Informação
SIVIUE	Special Issue on Visual Interfaces and User Experience
SMNAE	Social Media and the New Academic Environment: Pedagogical Challenges
TEEM	Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality
VARE	International Conference on Virtual and Augmented Reality in Education
VARM	International Conference Virtual Augmented and Mixed Reality
WMSCI	World Multi-Conference on Systemic, Cybernetics and Informatics

Los artículos se resaltan según el siguiente criterio de color:

<b>ARTÍCULOS</b>	Artículos relacionados con la estructura por etapas en el capítulo 8
<b>COMPENDIO</b>	Artículos del Compendio

Otro criterio de clasificación consiste en el índice de impacto de las publicaciones:

JCR	Journal Citation Reports
A&HCI	Arts & Humanities Citation Index (Web of Science)
SJR (Q1-Q4)	Scientific Journal Ranking (Quartiles from 1 to 4)
MIAR	Matriz de Información para el Análisis de Revistas
ICDS	Índice Compuesto de Difusión Secundaria

AÑO	ID	ÍNDICE	ICDS	TITULO
2008	01-C-IADIS			Impacto emocional en la visualización de imágenes en función del tipo de pantalla
	02-C-IADIS			Accesibilidad web en entornos culturales
	<b>03-C-CISCI</b>			Naturaleza para todos. Tecnología para una señalización adaptada.
2009	04-C-WMSCI			Iconographic WEB image classification based on Open Source Technology
	<b>05-C-CISTI</b>			Optimización de la accesibilidad web a partir de la experiencia de uso con usuarios discapacitados
	06-Co-SITI			Optimization of web accessibility from the user experience with disabled users
2010	07-C-IMSCI			User's Experience in the visualization of architectural images in different environments
	<b>08-C-CISCI</b>			Diseño de exposiciones arquitectónicas para discapacitados visuales. Aplicación de Tecnologías 3D y experiencia de usuario
	09-R-RISCI			Diseño de exposiciones arquitectónicas para discapacitados visuales. Aplicación de Tecnologías 3D y experiencia de usuario

	10-R-JSCI			Statistical approach of user's experience in the visualization of architectural images in different environments
2011	10-C-IMSCI			Digital Characters
	11-C-IMSCI			Implementation of methodological processes of users experience with 3D technology and augmented reality. Case study with students of architecture and users with disabilities.
	13-Co-DICTAP			Visual Interfaces and User Experience. Augmented reality for architectural education. One study case and work in progress
	14-Co-DICTAP			Mobile Visualization of Architectural Projects. Quality and emotional evaluation based on user experience
	15-Co-CISTI			3D technologies applied to architectural teaching
	16-Co-CISTI			Designing architectural images for small screen devices in function of user experience
	17-Co-SIGRADI			Aplicación docente de la realidad aumentada en cursos universitarios de representación de proyectos de Arquitectura
2012	18-Co-CISTI			Teaching Evaluation Using Augmented Reality in Architecture. Methodological Proposal
	19-Co-SIIE			Using augmented reality and education platform in architectural visualization: Evaluation of usability and student's level of satisfaction
	20-R-JITAE			Architecture degree project: Use of 3D Technology, models and Augmented Reality experience with visually impaired users
	21-R-JITAE			Augmented Reality in architecture degree. New approaches in scene illumination and user evaluation
	22-R-AR	A&HCI SJR-Q3	5.5	Alfabetización digital para la enseñanza de la arquitectura. Un estudio de caso
	23-R-SIVIUE			Quality evaluation of architectural projects in mobile devices based on user experience
	24-R-SIVIUE			Augmented Reality on Architectural and Building Engineering Learning Processes. Two Study Cases
	25-P-MINECO			E-Learning 3.0 en la docencia de la arquitectura. Casos de estudio de investigación educativa para un futuro inmediato
2013	26-R-Information	SJR-Q2	7.8	Hand-Held Augmented Reality: Usability and academic performance assessment in educational environments. Case study of an engineering degree course
	27-R-VARE			New strategies Augmented Reality-Mobile learning-teaching in Architecture and Building Engineering
	28-Co-AIST			Construction processes using mobile augmented reality. A study case in Building Engineering degree
	29-Co-VARE			Construction processes using mobile augmented reality. A study case in Building Engineering degree
	30-Co-SINTICE			Estudio del perfil de usuario y motivación del alumno para el uso de dispositivos móviles en la visualización de modelos tridimensionales
	31-Co-VARM			Real-Time Dynamic Lighting Control of an AR Model Based on a Data-Glove with Accelerometers and NI-DAQ
	32-Co-TEEM			Augmented reality uses in educational research projects: The Falcons Project, a case study applying technology in the Humanities framework at high school level

	33-L-SMNAE			Implementation of augmented reality in 3.0 learning methodology: Case studies with students of architectural degree
2014	34-R- Com&Ped			Nuevas estrategias docentes en Bachillerato. Uso de la Realidad Aumentada como herramienta tecnológica para la visualización de contenidos multimedia
	35-R-ACE	SJR-Q4	9.5	Geo-ELearning for urban projects. New educational strategies using mobile devices. A case study of educational research
	36-R-RUSC	SJR-Q3	9.6	Mobile learning in the field of Architecture and Building Construction. A case study analysis
	37-R-CHB	JCR-Q1	11	Relationship between student profile, tool use, participation, and academic performance with the use of Augmented Reality technology for visualized architecture models
	38-C-CISCI			Experiencia de uso de las TIC en el desarrollo de un proyecto arquitectónico singular: la Iglesia Ortodoxo Rumana de Barcelona
	39-Co- ICHCI			Augmented and Geo-located information in architectural education framework
	40-Co-TEEM			Educational Qualitative Assessment of Augmented Reality Models and Digital Sketching applied to Urban Planning
	41-Co-FIE			Academic Performance Assessment using Augmented Reality in Engineering Degree Course
2015	42-Co-TEEM			High vs. low intensity courses. Student Technological Behavior
	43-R-Com&Ped			Realidad Virtual y localización interior de contenidos para gafas inteligentes. Casos de estudio en el patrimonio de la UNESCO
2016	44-R-EGA	A&HCI SJR-Q2	10.9	Aproximación de superficies para la ejecución de bóvedas tabicadas
	45-R-RC			Aplicación de las TIC en el proceso de diseño y construcción de una Iglesia Ortodoxa
	46-Co-CISTI			Posicionamiento en interiores: Visualización de modelos virtuales 3D y diseño de su evaluación mediante métodos mixtos. Caso de estudio: Edificios patrimonio de la Humanidad y educación espacial en estudiantes de arquitectura
	47-Co-TEEM			Improving computational skills and curriculum of Vocational Training students. Case Study: Technological Behavior of pharmacy students in a Digital Marketing Course
2017	48-R-ACE	SJR-Q4	9.5	Nuevas tecnologías de visualización para mejorar la Representación de Arquitectura en la Educación
	49-R-IJTHI	SJR-Q4	9.5	Virtual reality using smart-devices in educational frameworks. Case Study: Museum Casa Batlló

## 4.1 Cronología general y justificación del compendio.

Como se puede comprobar en la relación cronológica, no solo se ha ido realizando un trabajo constante, sino que dicho trabajo que liga la investigación con la innovación docente, el uso de las TIC, y el ámbito de la arquitectura, ha tenido el respaldo de ponencias en congresos internacionales y revistas tanto de elevado impacto como otras de no menos entidad.

Sin olvidar nuestra hipótesis principal (**mediante el uso de nuevas tecnologías de visualización como son la RA y la RV se mejora la representación de arquitectura en el ámbito de la educación, favoreciendo la motivación y competencias de los estudiantes**) y los objetivos definidos para su evaluación<sup>17</sup>, la selección de los artículos que conforman el compendio se ajusta a los siguientes parámetros:

- **Actualidad:** Como se puede observar el inicio formal de la actividad investigadora es en el 2008 y tras una evolución lógica se obtienen las primeras publicaciones de impacto unos años después, en concreto en el 2012 (ID: 22-R-AR). Dado que actualmente una de las tendencias en la referenciación bibliográfica de artículos es la actualidad de las aportaciones (con recomendaciones de usar hasta un 40% de referencias con una antigüedad máxima de 4 años<sup>18</sup>), hemos optado por fijar como límite inferior el 2013.
- **Implicación en la experiencia y orden de firma:** Si bien, como es obvio, se ha participado en todas las referencias presentadas, la cuantificación de dicho trabajo varía de unas a otras. En dicho aspecto hemos querido diferenciar diversos niveles que van ligados al orden de firma utilizado:
  - *Líder Conceptual:* quien diseña el proyecto o experiencia a nivel global y lidera su implantación (primera o segunda posición en firma).
  - *Líder Técnico/Tecnológico:* quien diseña y lidera para el proyecto tanto la formación como implantación de recursos TIC (primera o segunda posición en firma).
  - *Analista:* encargado del diseño y métodos de extracción de datos y su posterior análisis. (segunda o tercera posición en firma).

---

<sup>17</sup> Las estrategias docentes basadas en tecnología mejoran el rendimiento del alumno; el uso de métodos mixtos nos permiten evaluar la mejora de las competencias y motivación del estudiante; la representación del proyecto arquitectónico a través de la tecnología amplía la capacidad de comprensión espacial; y el aprendizaje basado específicamente en el uso de tecnologías móviles aumentan en mayor nivel la motivación del estudiante universitario.

<sup>18</sup> Ver ejemplo: <http://revistas.uned.es/index.php/ried/about/submissions#authorGuidelines>

- *Investigador/técnico*: encargado de realizar tareas concretas del proyecto, tanto ligadas al ámbito conceptual como técnico o de análisis del proyecto (siempre por detrás de cualquiera de los roles previos). Este perfil se podría asignar al profesor de un grupo de trabajo de uno de los casos de estudio presentados.

Los artículos presentados a compendio se han establecido en base a una participación relevante, lo que se podría asignar a los roles de Líder Conceptual (ID: 48-R-ACE, 2017), o Técnico (ID: 46-Co-CISTI, 2016; ID: 44-R-EGA, 2016), cumpliendo el criterio inicial de actualidad.

- **Diversidad en ámbitos de actuación**: Con el objetivo de mostrar el impacto de la tesis y las comunicaciones presentadas, la selección de artículos se ha realizado también en base a su capacidad de impactar a nivel educativo en todas las fases de un estudiante: durante sus estudios (ID: 48-R-ACE, 2017), combinando los estudios universitarios con salidas profesionales de aspectos ligados a la visualización (ID: 46-Co-CISTI, 2016) y las utilidades profesionales que posteriormente pueden tener (ID: 44-R-EGA, 2016).

En base a los puntos indicados, el artículo seleccionado de conferencia (ID: 46-Co-CISTI), es un ejemplo que vincula el desarrollo profesional de técnicas de localización en interiores con la visualización multimedia de contenidos virtuales arquitectónicos. El proyecto explicado abarca diversos ámbitos:

- Por un lado el educativo técnico, dado que se ha tutorizado el desarrollo de la parte técnica en el marco de un proyecto final de grado de Ingeniera La Salle (alumno: Oriol de Reina)
- Por otro lado el profesional, ya que finalmente el sistema propuesto de posicionamiento interno y servicio de contenidos en función del usuario se ha implementado en el Museo Casa Batlló y hay otras implementaciones realizadas por el autor en otros ámbitos arquitectónicos y museísticos de importancia como La Seu Vella de Lleida
- Y finalmente un lado educativo formativo en arquitectura, ya que se ha realizado una experimentación con estudiantes del grado de arquitectura para validar en base a un estudio mixto (cuantitativo diseñado en el artículo presentado y

cualitativo utilizando el BLA) las posibilidades que el sistema presenta para la comprensión del espacio arquitectónico y su uso proyectual.

Desde el punto de vista cuantitativo hemos trabajado a partir de la norma de usabilidad ISO-9241. Este sistema aplicado habitualmente en los estudios de usabilidad indica que lo normal es recoger al menos una medida de cada uno de los criterios básicos de: Eficacia, eficiencia y satisfacción. No existen a tal efecto reglas generales para elegir y combinar dichas medidas, ya que dependerá de la importancia relativa que se dé a cada indicador y del contexto de utilización.

Cabe recordar pues, que entendemos la eficacia como la capacidad del usuario para completar las tareas durante el curso, en relación con la "exactitud y la integridad"; La eficiencia, como los recursos asignados relacionando preguntas sobre el gasto de tiempo y esfuerzo para resolver los ejercicios propuestos; y La satisfacción, como las reacciones subjetivas de los estudiantes sobre el curso. Para el análisis de los resultados, se han realizado comparativas entre los grupos de control y el experimental mediante el análisis de la varianza (ANOVA), estableciendo como hipótesis inicial H0 que no existen diferencias entre las variables comparadas.

Por otro lado, y para obtener una información libre del usuario sobre el proceso diseñado, y totalmente subjetiva sin ningún tipo de guía como se podría considerar el test cuantitativo, realizaremos un enfoque cualitativo basado en el BLA. Los métodos cualitativos se utilizan habitualmente en estudios de usabilidad con pocos usuarios y están inspirados en la psicología experimental y el paradigma hipotético-deductivo. Estos paradigmas socráticos heredados de la psicología postmoderna son muy usables en estudios de este tipo ya que se consiguen identificar todos los aspectos más relevantes de los proyectos con una alta fiabilidad sobre la tecnología utilizada. La principal característica del método es que permite obtener de manera directa las sensaciones del usuario (frustración, gratitud, éxito, fracaso, etc.) una vez realizado un experimento concreto. El BLA, trabaja con dos polos: uno positivo y el otro negativo, los cuales definen los puntos fuertes y débiles del producto o experiencia investigada. Una vez que se obtiene el etiquetado se efectúa el estudio de los puntos que mejor detallan el producto. Mediante la entrevista personal se consigue que el usuario (el estudiante en nuestro caso), mediante un ejercicio de reflexión identifique toda una serie de aspectos y valoraciones personales sobre la experiencia realizada, aspectos que tanto en positivo como en negativo

si son repetidos reflejaran la identificación de los diversos aspectos clave. Para la obtención de los resultados se trabaja mediante tres pasos:

- **Elicitación de elementos:** La implementación del test se inicia a partir de una plantilla en blanco donde se separarán los aspectos positivos y negativos. El entrevistador, en este caso un profesor, preguntará al usuario, en nuestro caso el alumno, que mencione los aspectos sobre la experiencia que más le han gustado y que menos. Dichos aspectos se resumirán en una palabra o una frase corta. Este primer paso puede ser abierto o limitado, es decir, que se expongan un número sin límites de aspectos o que estos se reduzcan a un número concreto, como sucederá en nuestro caso donde optaremos porque el alumno indique 3 aspectos positivos y 3 negativos.
- **Valoración de los elementos:** A continuación con la lista de elementos positivos y negativos realizada, se le preguntará al alumnos para que valoren de 0 (mínimo nivel de satisfacción) a 10 (máximo nivel), cada uno de los elementos, independientemente del signo de estos.
- **Definición de elementos:** Llegados a este punto podríamos afirmar que empieza la fase cualitativa del método. El entrevistador pasa a leer los diversos aspectos que el alumno ha indicado de ambas listas y le pregunta por una justificación de cada uno de ellos mediante una técnica de etiquetado: ¿Por qué es un elemento positivo?, ¿Por qué le has valorado con dicha puntuación? El objetivo es que cada pregunta se ajuste a una explicación específica de las características exactas que hacen del elemento mencionado un aspecto positivo o negativo. A continuación se pregunta al alumno por una solución para el problema que ha descrito en caso de elementos negativos, o una mejora para el caso de los elementos positivos si estos no han llegado a la puntuación máxima.

A partir de los resultados obtenidos se polarizan los elementos en base a dos criterios:

- **Elementos Positivos / Negativos (Px/Nx):** se diferencian aquellos elementos percibidos como puntos fuertes de la experiencia, que ayudan a mejorar el tipo de trabajo propuesto, que son útiles, satisfactorios, funcionales o simplemente estéticos, de los que el estudiante percibe como negativos, que no ayudan a la

mejora de su trabajo o que simplemente necesitan mejorar bastante para ser satisfactorios o útiles.

- Elementos Comunes / Particulares (xC/xP): en dos columnas separadas se colocan los elementos tanto positivos como negativos que se han repetido en las respuestas de los estudiantes (elementos comunes), y las respuestas que solo ha mencionado uno de los estudiantes entrevistados (elementos particulares).

Aquellos elementos comunes que tengan una tasa de citación más elevada son los aspectos más relevantes a utilizar, mejorar o modificar (según su signo positivo, PC, o negativo, NC) en la metodología utilizada. Los elementos particulares (positivos o PP, o negativos NP), debido a su citación única por parte de un solo usuario, pueden ser descartados o bien tratados en fases posteriores de las mejoras a realizar (en la siguiente Figura 6, podemos ver un ejemplo de test realizado).

Actualmente, los datos de la experimentación con los alumnos de arquitectura se han segmentado en dos artículos a revista, uno aceptado y en vías de publicación (Journal of Technology and Human Interaction, previsto para primer semestre 2017, ver anexo 49-R-IJTHI) y el otro actualmente en revisión (Journal of Educational Computing Research)

Cronológicamente, el 2014 y 2015 son años donde el autor está involucrado en roles secundarios (investigador/técnico) de diversas propuestas docentes que obtienen publicaciones indexadas (ID: 35, 36, 37), motivo por el cual no han sido incluidos en el compendio. No obstante durante este periodo se continúan desarrollando estrategias docentes basadas en el uso de dispositivos móviles, y tecnología BIM como marco de visualización del proyecto arquitectónico. Este ámbito de trabajo viene sustentado en las clases de Herramientas Informáticas 1 y 2 de La Salle y en las clases de Geometría Descriptiva y Dibujo II de la UCP. En dichos experimentos, se continúan estudiando los objetivos centrales de la tesis, y se van demostrando y cuantificando todos ellos, incluso ampliando el ámbito de actuación a su validación en el ámbito de la discapacidad y contextos informales de educación.

En el 2016, se publica el artículo referenciado como 44-R-EGA, un trabajo que integra la visualización y cálculo mediante tecnologías BIM de un modelo constructivo complejo. Probablemente estamos delante de un artículo que valida el tercer objetivo principal de la tesis: la mejora de la comprensión espacial a partir del uso de determinadas tecnologías

de visualización. Mientras el resto de artículos están más centrados en experiencias docentes y su evaluación posterior, este arranca desde la necesidad del proyecto profesional, acabándose de discutir a nivel educativo (en diferentes workshops de la UPC), y que incluso genera la tesis “Paràmetres geomètrics i arquitectònics de les esglésies ortodoxes romaneses a la regió de Valàquia” (Lluís Giménez Mateu, UPC, 22/01/2016).

Finalmente, en el 2017 después de un proceso de revisión-edición de año y medio (en gestión desde finales del 2015), se acepta para publicación la referencia 48-R-ACE. Contextualmente, dicho artículo tendría su sitio en la segunda posición del listado por compendio, pero se ha querido respetar el orden de publicación de los artículos por compendio. La comunicación se presenta y articula justamente como un resumen de experiencias que ligan de manera clara la consecución de diferentes objetivos de investigación de la tesis validando finalmente la hipótesis de la misma. En dicho artículo se repasan cuatro experiencias en las que las TIC han tenido un papel fundamental en el grado de motivación, satisfacción y mejora curricular de los alumnos del grado de arquitectura. Todos los proyectos se han vehiculado a partir de la representación del espacio arquitectónico con diferentes fines:

- Diseño centrado en el usuario final atendiendo a necesidades concretas (discapacidad visual), de un espacio arquitectónico singular (La Sagrada Familia).
- Experimentación tradicional vs experimental. Los alumnos han evaluado el grado de precisión y comprensión espacial que aporta la creación de entornos físicos (maquetas), o virtuales (RA), a partir de la reproducción de los casos de estudio arquitectónicos definidos en el curso académico.
- Hacia el estudiante 3.0: Evolución del alumno receptor exclusivo de información a generador de contenidos mediante la mezcla de las técnicas y tecnologías desarrolladas en el curso.
- Integración de tecnologías y sistemas de evaluación. En una experimentación que se lleva repitiendo los dos últimos cursos académicos, integración de tecnologías 2D (sketching y montaje), 3D (RA y RV), con un análisis mixto (cuantitativo y cualitativo).
- Metodología mixta de extracción y análisis de datos. Tal y como hemos referido en la explicación del primer artículo del compendio, el enfoque en los

casos de trabajo presentados mezcla la extracción y análisis de datos de forma cuantitativa y cualitativa. El primer sistema se ha realizado para muestras con más de 30 alumnos involucrados, utilizando la norma usabilidad ISO-9241 y evaluando los mismos conceptos de eficacia, eficiencia y satisfacción así como su relación con la variables académicas. Mientras, en las experimentaciones con menos alumnos, y en especial en el último periodo se han añadido los estudios cualitativos mediante el BLA y en forma mixta, aspecto que aporta mucha más información, detalle y relación entre las variables estudiadas.

En conclusión, y como demuestran de forma individual los aportes referenciados, queda validada la hipótesis inicial de la tesis gracias a la validación individual de los objetivos definidos y que se han relacionado en el compendio presentado.



# 5 Artículos por compendio

## 5.1 Artículo 1

2016

Navarro, I., de Reina, O., Rodiera, A., & Fonseca, D. (2016, June). **Indoor positioning systems: 3D virtual model visualization and design process of their assessment using mixed methods: Case study: World heritage buildings and spatial skills for architecture students.** In *Information Systems and Technologies (CISTI), 2016 11th Iberian Conference on* (pp. 1-6). IEEE. DOI: 10.1109/CISTI.2016.7521532

### RESUMEN

El objetivo del artículo presentado es explicar el diseño de un sistema de posicionamiento interior y visualización 3D mediante tecnologías móviles y realidad virtual. Con el diseño del sistema propuesto se pretende mejorar la comprensión espacial en la visita de edificios catalogados como Patrimonio de la Humanidad, todo ello mediante tecnologías móviles y “portables”. Así mismo se pretende diseñar un sistema de evaluación mixta que permita obtener y definir la percepción del usuario, en nuestro caso el estudiante de Arquitectura o Arquitectura técnica, el cual no solo debe dominar sistemas de representación 3D sino el modelado y presentación de espacios emblemáticos.

INDICE: IEEE Indexed (INSPEC: 16178668 con 57 descargas a fecha febrero 2017). Conferencia ISI, Scopus, EI, INSPEC y Google Scholar.

### ALCANCE

El artículo expone la implementación de un proyecto desarrollado por estudiantes en la obra, patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, de la Casa Batlló de Gaudí. Se evalúa la implicación en estudiantes con TDA en la efectividad de mostrar contenidos en RV de manera accesible desde los dispositivos móviles de las audioguías.



# Posicionamiento en interiores: Visualización de modelos virtuales 3D y diseño de su evaluación mediante métodos mixtos

Caso de estudio: Edificios patrimonio de la Humanidad y educación espacial en estudiantes de arquitectura

## *Indoor positioning systems: 3D virtual model visualization and design process of their assessment using mixed methods*

*Case study: World Heritadge buildings and spatial skills for architecture students*

Isidro Navarro, Oriol de Reina, Alex Rodiera, David Fonseca  
GRETEL – Grup de Recerca en Enhanced Technology Learning  
La Salle, Universitat Ramon Llull  
Barcelona, Spain  
{inavarro, gm22906, st19675, fonsi}@salle.url.edu

**Resumen** — El objetivo del artículo presentado es explicar el diseño de un sistema de posicionamiento interior y visualización 3D mediante tecnologías móviles y realidad virtual. Con el diseño del sistema propuesto se pretende mejorar la comprensión espacial en la visita de edificios catalogados como Patrimonio de la Humanidad, todo ello mediante tecnologías móviles y “portables”. Así mismo se pretende diseñar un sistema de evaluación mixta que permita obtener y definir la percepción del usuario, en nuestro caso el estudiante de Arquitectura o Arquitectura técnica, el cual no solo debe dominar sistemas de representación 3D sino el modelado y presentación de espacios emblemáticos.

**Palabras Clave** – Visualización 3D, posicionamiento en interiores; estudio de usuario; métodos mixtos; docencia arquitectónica.

**Abstract** — The main objective of this paper is to explain an indoor positioning system and 3D visualization using mobile technologies and virtual reality methods. With our proposal we aim to improve the comprehension of historical World Heritage buildings by using advanced visual technologies during the visit as for example wearable devices. We will design a mixed method to assess them and the user’s experience, in our case the Architecture and Building Engineering degree students, in order to improve their spatial skills of this type of emblematic architectural projects.

**Keywords** – 3D visualization; indoor positioning systme; user study; mixed method; architecture education.

### I. INTRODUCCIÓN

El acceso a la cultura es un derecho universal [1], y la tecnología puede facilitar los medios para hacerlo posible. Bajo esta premisa, es relativamente fácil encontrar trabajos tanto de divulgación como de investigación centrados en el estudio de cómo se deben implementar y usar todo tipo de tecnologías en los museos [2], incluidas las móviles [3]. Todas estas propuestas las podemos clasificar en función de si se producen en un espacio real (museos y espacios expositivos) o virtual (entornos digitales accesibles desde los dispositivos móviles), partiendo del concepto que la proximidad a las obras de arte y de patrimonio se complementa con la ubicuidad de la información digital que los representa. Algunos de estos casos están centrados en la visualización de contenidos tridimensionales y otros en las experiencias tecnológicas en los espacios arquitectónicos y de exposición. En el primer caso, las plataformas on-line accesibles permiten ya interactuar desde cualquier dispositivo con los objetos de exposición para poder visualizarlos en 360 grados, encontrando sistemas que han creado de forma específica espacios y opciones para los museos como por ejemplo mediante Sketchfab [4]. Estos contenidos fácilmente se pueden enriquecer con datos y referencias que amplían el espacio del museo físico a entornos digitales que en muchos casos incluso son más accesibles para los usuarios.

Por otro lado, cada vez más los museos incluyen nuevas tecnologías en los propios espacios mediante el uso de video-guías, pantallas táctiles, proyecciones interactivas, etc. [5]. En este sentido, desde la aparición y eclosión de todo tipo de

dispositivos móviles, algunas de estas experiencias se han mezclado, dando como resultado propuestas en las que es el propio usuario quien aporta el dispositivo para completar la experiencia en el museo: métodos conocidos como BYOD (*‘Bring Your Own Device’*) [6] o ‘lleva tu propio dispositivo’ al museo. En este tipo de propuestas, las aplicaciones móviles exhiben contenidos adicionales a los elementos físicos los cuales aportan un valor añadido a las piezas y a los edificios en sí mismos. Este enfoque no es ajeno al ámbito académico, donde podemos encontrar propuestas donde los estudiantes utilizan sus móviles y tabletas para acceder a contenidos educativos en las aulas [7].

En definitiva, el presente artículo se centra en desarrollar la configuración tanto del entorno real como de los sistemas digitales que permitan complementar un espacio real con el posicionamiento físico del usuario y a partir del mismo ofrecerle una serie de contenidos virtuales relacionados con el espacio en el cual se encuentra. El proyecto es una colaboración entre la empresa Lab4Glass encargada del diseño y gestión de todo el sistema de posicionamiento y visualización virtual y la Facultad de Arquitectura de La Salle, Universitat Ramon Llull, quien se ha encargado de diseñar los métodos de evaluación y aportar los estudiantes para que puedan evaluar el entorno creado. La capacitación de las habilidades de interpretación y representación espacial utilizando métodos tecnológicos es una de las competencias que los actuales estudiantes de Arquitectura y Arquitectura Técnica deben incorporar en sus currículos para una capacitación adecuada de cara a su integración en un marco laboral de alta complejidad debido sobre todo a la crisis derivada de la construcción. En base a este aspecto el enfoque mixto para la evaluación tanto de la tecnología como de la usabilidad y satisfacción del usuario, en nuestro caso el estudiante, es sin duda alguna uno de los aspectos más innovadores del presente artículo.

## II. MARCO DE TRABAJO

Las experiencias en museos y edificios patrimoniales han centrado la atención habitualmente en la accesibilidad, la usabilidad y la calidad del contenido [8]. La mayoría de las propuestas están orientadas a personas con discapacidades, niños y personas mayores, a evaluar su facilidad de uso y la autonomía del visitante en la navegación de los contenidos, aunando estos factores para que formen una experiencia satisfactoria. Este sería el punto de partida del actual trabajo, es decir, valorar y diseñar métodos de bajo coste que permitan obtener una información complementaria de calidad en la visita de entornos arquitectónicos relevantes. A continuación, nos vamos a centrar en desarrollar los tres pilares básicos del trabajo: el posicionamiento del usuario en interiores de forma exacta mediante balizas (también conocidas como *beacon*), la visualización de contenidos 3D en dispositivos móviles con calidad fotorrealista, y la evaluación de la experiencia desde un punto de vista educativo mediante métodos mixtos.

### A. Posicionamiento del usuario

La localización en interiores tiene diversos enfoques posibles, todos ellos dependientes del tipo de tecnología utilizada. Entre las tecnologías que históricamente se han utilizado para dichos fines encontramos:

- *“Motion Capture”*: Tecnología basada en la captura de movimientos mediante sistemas ópticos para su traslación a modelos digitales.
- Triangulación de celdas: basada en los niveles de señales recibidos por dispositivos móviles a partir de antenas próximas. Su mayor problema radica en la precisión en función del entorno de trabajo.
- Navegación GPS: Con una precisión alrededor de 4m dispone de diversas variantes siendo como en el caso anterior mucho más precisa en exteriores que en interiores donde su fiabilidad es escasa.
- Posicionamiento por Wi-Fi (WPS): Mejora la problemática del sistema GPS al funcionar en interiores y depende de una triangulación de la señal que emite cada router Wi-Fi como de si de un sistema de celdas se tratase. Puede ser problemático si el interior es complejo o tiene fallas de conexión.
- Posicionamiento híbrido: sistema que combinar todas o algunas de las tecnologías descritas previamente. Un ejemplo de trabajo sería el de los dispositivos Android o iOS.
- iBeacons (*Bluetooth Low Energy – BLE*, o balizas): Sistema basado en redes personales definidas en un área concreta donde se centra la transmisión de datos en distancias cortas con poco consumo energético y de mantenimiento.

En línea con las posibles opciones comentadas previamente, los sistemas tipo BLE los cuales funcionan mediante *“Advertisements”* o anuncios emitidos en forma de *broadcast* a intervalos regulares de tiempo mediante ondas de radio, cumplen con las premisas básicas de trabajo de la propuesta: fácil instalación, coste reducido de gestión y adaptación a los contenidos a visualizar. Para la visita de un espacio de interés, la instalación de una baliza (o beacon, dispositivo que posteriormente definiremos con mayor detalle) por sala es suficiente (suelen contar con un rango de trabajo de unos 100m), y cuentan con el soporte de los principales fabricantes de móviles. En el caso de Android, este sistema dispone de un módulo llamado *“Broadcast Receivers”* que permite el envío entre aplicaciones y dispositivos de forma sencilla. Mientras que por ejemplo para dispositivos iOS se han estandarizado los diversos tipos de anuncios de los iBeacons de forma que encontramos:

- UUID (Universal Unique Identifier): Serie de 16 bytes usado para diferenciar a un largo grupo de iBeacons.
- Major: Serie de 2 bytes usado para identificar a un grupo más pequeño de iBeacons dentro de un grupo más grande.
- Minor: Serie de 2 bytes usado para identificar iBeacons individualmente. Por ejemplo, un iBeacon en la entrada tendrá un Minor diferente que un iBeacon en la azotea, de manera que detectando el iBeacon se puede saber de dónde viene esta señal.

- Tx Power (Potencia de Transmisión): Determina la distancia, siendo Tx Power la fuerza con la que la señal se recibe justo a 1 metro del iBeacon.

En conclusión, la facilidad de adaptación de este tipo de sensores que funcionan con un simple procesador de Bluetooth, una batería y un firmware, se posicionan con fuerza como solución que se adapte a la propuesta en desarrollo, es decir, un sistema que mediante el envío de una advertencia en función de la posición del usuario le indique la necesidad de visualizar un contenido concreto.

### B. TICs en educación

Sin olvidar que uno de los objetivos del proyecto es la mejora y capacitación del alumno en la representación del espacio tridimensional mediante dispositivos móviles, no podemos dejar de analizar el estado actual del sector. En el caso del ámbito de la docencia en arquitectura, construcción, diseño o ingeniería, habitualmente descrito como el sector AEC (*Architecture, Engineering and Construction*), el uso de cualquier tecnología que de forma visual ayude a la comprensión espacial del alumno es un factor de extrema importancia. De facto, ya a finales del siglo XX con la popularización de los entornos CAD (*Computer Aided Design*), y más recientemente con su evolución tecnológica representada por los sistemas BIM (*Building Information Modeling*), el sector AEC se ha posicionado como uno de los principales consumidores de tecnología 3D, tanto para la gestión, diseño como visualización de cualquier elemento proyectual [9].

Pero si bien el uso del ordenador personal se ha extendido y generalizado a todos los niveles de la enseñanza, no está ocurriendo lo mismo con otros dispositivos, como pueden ser los móviles de última generación (o Smartphones), o las tabletas, dispositivos ambos que gracias a sus elevadas prestaciones permiten la deslocalización no solo del trabajo sino de la formación, incluso con la necesidad de uso de aplicaciones complejas como las CAD/BIM. Dichos dispositivos, más ligados a un uso personal o de ocio, ofrecen posibilidades docentes que recientemente se comienzan a estudiar y que incluso vinculan su uso a un mayor rendimiento académico [10].

En la educación arquitectónica, la componente visual es uno de los aspectos más relevantes que el alumno debe dominar e interpretar correctamente [11]. Gracias al avance tecnológico y en especial el informático, a día de hoy tanto la generación de modelos tridimensionales realistas como su gestión y visualización se ha simplificado de tal forma que tanto los profesionales del sector, profesores, como alumnos ven su uso y necesidad como algo habitual [12]. Llegados al extremo de necesitar información visual interactiva en cualquier ubicación, el uso de dispositivos móviles y tecnologías como la realidad virtual o la realidad aumentada están permitiendo entender espacios virtuales superpuestos en sus ubicaciones reales, aportando informaciones, detalles y aspectos visuales que ayudan a la comprensión proyectual del espacio arquitectónico. Su uso a nivel educativo en el ámbito arquitectónico está permitiendo ampliar la información visual en estudios tan heterogéneos como la coordinación de proyectos, excavación, gestión de instalaciones, impacto

ambiental, rehabilitación, o directamente en aspectos como el ocio y el turismo [13], [14].

No obstante, y como suele suceder con casi cualquier tecnología, la adaptación de los contenidos suelen tener problemas que afectan a la interacción y la usabilidad por un lado, y de manera directa por el otro, a la apreciación de utilidad de dicha tecnología por parte del alumno, lo que degenera en una pérdida de la motivación inicial y una bajada del grado de satisfacción de dichas experiencias docentes. Sin duda estos van a ser aspectos primordiales a evaluar de la experiencia.

### C. Métodos mixtos de evaluación y su aplicación en docencia

En la experimentación e investigación de hipótesis científicas en base a la respuesta del usuario, un aspecto fundamental radica en el correcto diseño de los métodos que permiten la extracción de los datos a estudiar [15]. Habitualmente, las encuestas que los alumnos realizan están diseñadas para medir la usabilidad de un sistema, su percepción en general y finalmente el grado de eficiencia, eficacia o satisfacción conseguida con el método propuesto. Las muestras por encima de los 30 usuarios suelen tratarse de forma cuantitativa, pero los enfoques cualitativos con pocos usuarios están demostrando que tienen igual o más calidad ya que los datos que se obtienen profundizan más en todos los aspectos del estudio [16] [17].

En especial, estos métodos cualitativos se utilizan en los estudios de usabilidad, los cuales están inspirados en la psicología experimental y en el paradigma hipotético-deductivo [25]. Existen otros métodos centrados en modelos psicológicos que defienden el tratamiento subjetivo del usuario en contraposición con el modelo objetivo hipotético-deductivo [18]. Llegados a este punto, queda claro que en la medida de lo posible utilizar métodos compuestos o mixtos de análisis de datos y que utilicen los puntos fuertes de los sistemas cuantitativos y de los cualitativos [19], permiten obtener de forma mucho más concreta y precisa los aspectos positivos y negativos de cualquier estudio centrado en el usuario [20].

Dicha aproximación combinada de un estudio de usuario, o mejor dicho en nuestro caso, un estudio de alumno (o de aplicación docente), es lo que posiciona el trabajo como una aproximación destacada en el campo de la innovación docente. En las encuestas cuantitativas, se obtienen resultados a preguntas previamente seleccionadas por el profesorado, de manera que el resultado queda intoxicado por el interés del encuestador. Justamente lo contrario al sistema cualitativo propuesto en el experimento, donde el alumno ha tenido la total libertad de expresar los puntos fuertes y débiles, así como su ponderación y posibles soluciones de manera que se han obtenido respuestas que, ahora sí, combinadas con los datos cuantitativos nos perfilan como mejorar el experimento en futuras iteraciones.

## III. IMPLEMENTACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

La Realidad Virtual aplicada a museos y espacios de Patrimonio es la tecnología más utilizada para reproducir contenidos de los espacios que originalmente corresponden con las piezas de exhibición o para reconstruir el patrimonio desaparecido o en claro estado de deterioro [21]. También se ha

utilizado para mostrar diseños y obras de artistas y arquitectos que nunca se materializaron y que encuentran en esta tecnología una posibilidad de ser recuperados ‘virtualmente’ [22]. Las explicaciones técnicas o procesos de creación y construcción son otros recursos muy comunes de la Realidad Virtual [23].

La localización interior se aplica para ubicar los dispositivos móviles de los visitantes y ofrecerles la información de los puntos de interés (POI – Points Of Interest) en función del contexto y el lugar exacto en el recorrido de las exposiciones o del monumento o museo (Fig. 1). Es necesario el uso de señales inalámbricas (wifi, bluetooth, etc.). Estas señales emitidas desde dispositivos ubicados estratégicamente en las salas son recibidas por los dispositivos móviles activando una acción en la aplicación. Esta acción será la que finalmente accione un contenido multimedia (audio, video, animación, modelos 3D, etc).

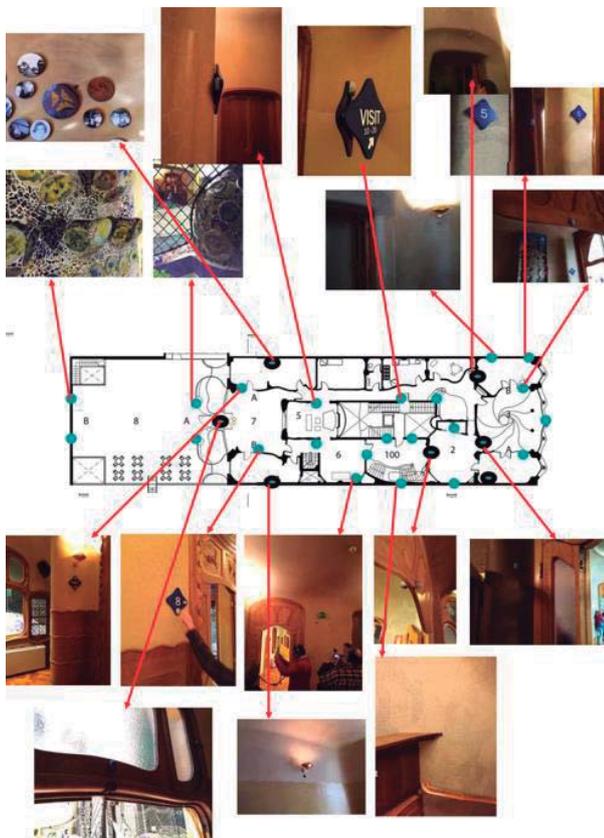


Figure 1. Localización de las balizas en la caso de estudio: Casa Batlló.

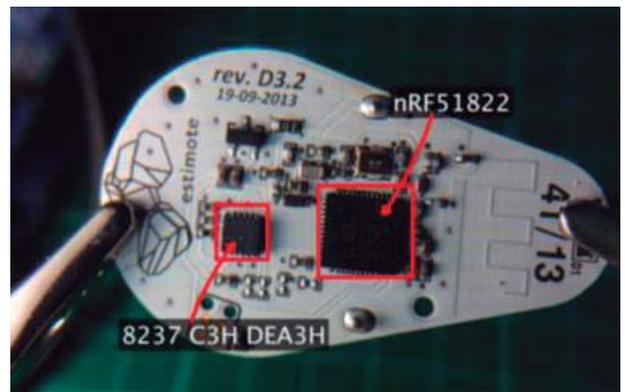


Figure 2. Ejemplo de un pie de figura (figure caption)

Para este proyecto el caso de estudio seleccionado ha sido la Casa Museo Batlló, obra de Antoni Gaudí y declarada por la Unesco como Patrimonio de la Humanidad. El objetivo es analizar el tipo de información que se ofrece en su visita mediante el uso de audio-guías y proponer un sistema que avise al usuario en cada momento en función de su posición que aspecto relevante debe tener en cuenta para visualizar un contenido adicional. Los responsables del museo detectaron que los visitantes no marcaban los números correctamente, lo que podía generar una experiencia poco satisfactoria. Con intención de mejorar esta situación, es el motivo de partida de generación de esta experiencia concreta, añadiendo el posicionamiento del usuario en la video-guía 2.0. El objetivo del sistema es sugerir el número al visitante y mostrar las imágenes sólo si su posición es la correcta. En caso contrario, la pantalla se mostraría oscurecida y sólo se activaría el audio.

Para el estudio se ha optado por tecnología de balizas (beacons) de señal Bluetooth 4.0 y el tipo de dispositivo móvil Android Sony Xperia T3. En esta etapa de la investigación, se han estudiado las balizas Estimote (Fig. 2), que aunque inicialmente no estaban pensadas para trabajar en Android se han podido programar mediante el SDK del fabricante sin problemas. Estos dispositivos montan un semiconductor nRF51822. Este chip es básicamente un módulo de memoria de 32-bit ARM Cortex M0 CPU con 256KB de memoria flash y 16KB de RAM junto a un Bluetooth LE que opera a 2.4GHz. También lleva algunos sensores de temperatura o aceleración. Según Estimote tiene un alcance de 70 metros.

Para el desarrollo de contenidos se ha trabajado con varios formatos y programas de modelado 3D y presentación de contenidos (AutoCAD, 3DStudio MAX, Revit Architecture, etc.). Adicionalmente se ha desarrollado una aplicación Android con Unity que interpreta los archivos de programación en C# y JavaScript para la configuración del posicionamiento. El posicionamiento se determinará por triangulación de los usuarios. Las señales de radiofrecuencia (tipo Bluetooth) y la potencia de las mismas, se han estudiado mediante simulación numérica de diversas variables y filtros debido a la gran oscilación de la señal. Al respecto, podemos concluir que estas oscilaciones dependen desde la orientación del usuario, a los emisores, de la geometría de los espacios, de las interferencias magnéticas, etc. Todos ellos son factores que alteran la intensidad de las señales y por lo tanto, se tendrán en cuenta para un cálculo por aproximación (Fig. 3).



Figure 3. Localización interior por simulación numérica en Casa Batlló.

La casa-museo Casa Batlló dispone actualmente de video-guía que muestra 20 puntos de interés del recorrido de la visita mediante dispositivos móviles tipo Sony Xperia T3 con la aplicación instalada de la visita. La aplicación incluye un menú con números que corresponde a los lugares en la casa marcados con un rótulo en la pared con el mismo número (Fig. 4). Al seleccionar el número correspondiente a la sala, aparece una imagen virtual de 360° mostrando el mismo espacio con el mobiliario de la época y animaciones digitales incrustadas (Fig. 5).



Figure 4. Indicaciones en el menú por localización.



Figure 5. Contenidos virtuales seleccionados en un punto concreto por localización.

#### IV. DISEÑO ESTUDIO DE USUARIO

Tal y como hemos comentado previamente, se ha diseñado un enfoque mixto con el fin de trabajar tanto con datos cuantitativos como cualitativos. Este enfoque nos debe ayudar a una mejor comprensión de los datos recogidos en el experimento docente y dado el enfoque, corregir cualquier problema derivado de la muestra en especial con los datos cuantitativos.

Desde el punto de vista cuantitativo hemos trabajado a partir de la norma de usabilidad ISO-9241, la cual indica que lo normal es recoger al menos una medida de cada uno de los criterios de eficacia, eficiencia y satisfacción. No existen a tal efecto reglas generales para elegir y combinar dichas medidas, ya que dependerá de la importancia relativa que se dé a cada indicador y del contexto de utilización. En este aspecto hay que recordar que:

- Eficacia: medidas que comparan los objetivos del usuario con la precisión y el grado de consecución.
- Definimos como Eficiencia las medidas que comparan el nivel de eficacia alcanzado con los recursos empleados para ello, siendo estos recursos el esfuerzo físico o mental, el tiempo, los costes materiales, financieros, etc.
- Finalmente, la Satisfacción mide hasta qué punto los usuarios están libres de incomodidad, así como su actitud respecto a la utilización del producto.

El test creado para medir estos factores se puede observar en la Table 1. Por otro lado, y para obtener una información libre del usuario sobre el proceso diseñado, y totalmente subjetiva sin ningún tipo de guía como se podría considerar el test cuantitativo, realizaremos un enfoque cualitativo basado en el BLA (Bipolar Laddering Assessment) [24]. El BLA consiste en la realización de tres pasos: El listado de elementos (se inicia a partir de una plantilla en blanco donde se separarán los aspectos positivos y negativos); La valoración de los elementos (a continuación se le preguntará al alumno para que valore de 0 a 10 cada uno de los elementos); Y finalmente se pasa a preguntar por una justificación de cada uno de los elementos citados mediante una técnica de etiquetado: ¿Por qué es un elemento positivo?, ¿Por qué le has valorado con dicha puntuación?. A continuación se pregunta al alumno por una solución para el problema que ha descrito en caso de elementos negativos, o una mejora para el caso de los elementos positivos si estos no han llegado a la puntuación máxima. A partir de los resultados obtenidos se polarizan los elementos en base a dos criterios:

- Elementos positivos / negativos: se diferencian aquellos elementos percibidos como puntos fuertes de la experiencia, de los percibidos como negativos.
- Elementos comunes / particulares: se colocan los elementos tanto positivos como negativos que se han repetido en las respuestas de los estudiantes (comunes), y las respuestas que solo ha mencionado uno (particulares).

TABLE I. TEST DE USABILIDAD. E1: EFICACIA, E2: EFICIENCIA, S1: SATISFACCIÓN, TODOS ELLOS VALORADOS EN UNA ESCALA LIKERT DE 1 A 5

Variab. Usabil.	Preguntas del test
E1-1	El dispositivo de visita es adecuado para la visita
E1-2	Es fácil manipular la navegación por la aplicación
E1-3	La calidad de los contenidos multimedia presentados es adecuada y ayuda a la comprensión espacial del entorno.
E1-4	Las opciones del menú permiten la visualización clara y ordenada de los contenidos asociados a la visita
E1-5	La visualización de contenidos en base a la localización de las marcas o del dispositivo ha ayudado a la comprensión

	espacial del proyecto
E2-1	Ha sido posible el uso del dispositivo de forma autónoma
E2-2	La aplicación ha sido estable
E2-3	Ha sido posible visualizar la totalidad de los contenidos multimedia fácilmente
E2-4	El número de POIs y sus contenidos asociados han sido los adecuados para la comprensión del espacio en función del tiempo de visita
E2-5	Ha sido posible un recorrido ordenado por los POIs
S1-1	Grado de satisfacción con el uso del dispositivo móvil complementario a la visita
S1-2	Grado de satisfacción con la aplicación móvil
S1-3	Valoración global de la calidad y contenidos multimedia
S1-4	La comprensión espacial del proyecto ha sido satisfactoria a partir de los POIs seleccionados en la visita
S1-5	La visita guiada es más satisfactoria que una realizada de forma autónoma
S1-6	El uso de dispositivos móviles y visualización 3D mejora el interés, comprensión espacial y motivación por la visita
S1-7	Este tipo de tecnología (dispositivos móviles, contenidos multimedia, geo-localización) es útil en otros entornos (patrimonio, turismo, cultura, ocio, ...)
S1-8	Valoración global

Los elementos comunes con tasas de citación más elevadas son los aspectos más relevantes a utilizar, mejorar o modificar (según su signo positivo o negativo) en la metodología utilizada. Los elementos particulares, pueden ser descartados o bien tratados en fases posteriores de las mejoras a realizar.

## V. CONCLUSIONES

El proyecto tiene dos fases claramente diferenciadas. En una primera se ha implementado el sistema de localización interior y visualización de contenidos mediante realidad aumentada que se solicitó por parte de los gestores de Casa Batlló a los desarrolladores del proyecto. Actualmente el sistema es funcional y está en estudio para su implantación definitiva en dicho monumento. Este proyecto ha permitido a su vez que actualmente se estén diseñando procesos similares para otros edificios patrimonio de la humanidad o en vías de clasificación como es el caso de la Sagrada Familia o la Seu Vella de Lleida. Sin duda alguna que se estén realizando estos trabajos avala la originalidad del enfoque así como la usabilidad e interés del sistema propuesto. En conclusión podemos afirmar que el diseño propuesto de visualización de contenidos en espacios interiores mediante el posicionamiento del usuario que hemos diseñado se adapta a las necesidades de este tipo de entornos museísticos.

Aprovechando un proyecto como el explicado y dada la validez que este conlleva para su uso en un ambiente docente (como el de los estudios de grado de Arquitectura y Arquitectura Técnica), donde las capacidades de representación 3D son conocimientos que dichos estudiantes deben obtener, estamos en la actualidad realizando las pruebas tanto cuantitativas como cualitativas que permitan valorar el grado de conocimiento y comprensión adquirido por los alumnos en la visita a estos edificios. El enfoque mixto diseñado y comentado en este artículo nos debe permitir en un futuro próximo evaluar la mejora que supone nuestra propuesta no solo en la vista del usuario a estos recintos, sino también el grado de comprensión adicional que puede suponer para un

usuario experto, como puede ser el profesional o estudiante de arquitectura. Al respecto se espera tener los primeros datos para analizar a lo largo del primer semestre natural del año 2016. Todo ello va ligado a la mejora de la accesibilidad [26] a lugares emblemáticos, ligando esta línea de trabajo a la primera premisa del artículo: el acceso a la cultura y el arte debe ser un bien universal.

## AGRADECIMIENTOS

Desde este marco agradecer a la gerencia de la Casa Batlló su ofrecimiento a realizar el estudio que se describe y acceder a las instalaciones por parte del profesorado y el alumnado del grado de Arquitectura La Salle.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Un.org., "The Universal Declaration of Human Rights", United Nations. [Consulta 5/01/2016], from <http://www.un.org/en/universal-declaration-human-rights/> 2016.
- [2] R. E. Grinter, et al. "Revisiting the visit: understanding how technology can shape the museum visit." Proceedings of the 2002 ACM conference on Computer supported cooperative work. ACM, 2002.
- [3] L., Shu, "Van Gogh vs. Candy Crush: How museums are fighting tech with tech to win your eyes". Digital Trends. [Consulta 5/01/2016], from <http://www.digitaltrends.com/cool-tech/how-museums-are-using-technology/>, 2015.
- [4] Sketchfab, "Sketchfab for Museums and Cultural heritage" - Sketchfab. [Consulta 5/01/2016], from <https://sketchfab.com/museums>, 2016
- [5] M. Carrozzino, M. Bergamasco, "Beyond virtual museums: Experiencing immersive virtual reality in real museums". Journal Of Cultural Heritage, 11(4), pp. 452-458. 2010.
- [6] Es.wikipedia.org, "Bring your own device", [Consulta 5/01/2016], from [https://es.wikipedia.org/wiki/Bring\\_your\\_own\\_device](https://es.wikipedia.org/wiki/Bring_your_own_device), 2016
- [7] Y. Song "Bring Your Own Device (BYOD) for seamless science inquiry in a primary school" Computers & Education, 74, pp. 50-60, 2014
- [8] K. Angkananon, M. Wald, L. Gilbert, "Technology enhanced interaction framework and method for accessibility in Thai museums". 3Rd International Conference On Information And Communication Technology (Icoict). 2015.
- [9] D. Fonseca, et al. "Combination of qualitative and quantitative techniques in the analysis of new technologies implementation in education: Using augmented reality in the visualization of architectural projects." Information Systems and Technologies (CISTI), 2013 8th Iberian Conference on. IEEE, 2013.
- [10] E. Callaway, "iTunes university' better than the real thing. Disponible en", <http://www.newscientist.com/article/dn16624-itunes-university-better-than-the-real-thing.html> [Consulta 15/02/2012], 2009
- [11] S. Boeykens, M. Santana-Quintero, H. Neuckermans, H. "Improving Architectural Design Analysis using 3D Modeling and Visualization techniques". Digital Heritage: 14th International Conference on Virtual Systems and Multimedia Pages. Limassol, Cyprus. Pp. 67-73. 2008
- [12] D. Bouchlaghem, H. Shang, J. Whyte, A.Ganah, "Visualization in architecture, engineering and construction (AEC)". International Journal of Automation in Construction, 14, pp.287-295. 2005.
- [13] D.H. Shin, P.S. Dunston, "Identification of application areas for Augmented Reality in industrial construction based on technology suitability". Automation in Construction, 17(7), pp. 882-894. 2008
- [14] J.R. Sánchez, D. Borro, "Automatic Augmented Video Creation for Markerless Environments". Proceedings 2nd International Conference on Computer Vision Theory and Applications Pp. 519-522. 2007.
- [15] I. Navarro, et al. "Teaching Evaluation Using Augmented Reality in Architecture. Methodological Proposal", 7º Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Informació, Madrid, Spain, pp. 685-690, Edit: Alvaro Rocha, et al, AISTI. 2012.
- [16] S. Delamont, P. Atkinson, P., "Editorial Qualitative Research", Qualitative Research Journal, 10(6). Pp.635-637. 2010.

- [17] D. Fonseca, E. Redondo, S. Villagrasa. "Mixed-methods research: a new approach to evaluating the motivation and satisfaction of university students using advanced visual technologies." *Universal Access in the Information Society* 14.3 pp. 311-332. 2015.
- [18] V.F. Guidano, "Constructivist psychotherapy: A theoretical framework", in Neimeyer, R. A., Mahoney, M. J. (Eds.): *Constructivism in Psychotherapy*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- [19] C. De Pelakai, "Qualitative and Quantitative Methods: Differences and Tendencies", *Telos* 2(2), Pp. 347-352. 2000.
- [20] A. Muñoz, "Los métodos cuantitativo y cualitativo en la evaluación de impactos en proyectos de inversión social", Tesis doctoral de Economía por la Universidad Mariano Gálvez de Guatemala, 2007.
- [21] [Revistadepatrimonio.es](http://www.revistadepatrimonio.es), [Consulta 5/01/2016], <http://www.revistadepatrimonio.es/revistas/numero8/difusion/estudios2/articulo.php> 2016.
- [22] Casa Batlló, "Casa Batlló descifra la simbología oculta de Gaudí y descubre todo su mobiliario original", [Consulta 5/01/2016], from <https://www.casabatllo.es/novedades/casa-batllo-simbologia-oculta-gaudi-descubre-mobiliario-original/> 2015.
- [23] Rtve.es, "Ingeniería Romana", Laboratorio RTVE.es. [Consulta 5/01/2016], from <http://lab.rtve.es/ingenieria-romana/> 2016.
- [24] M. Pifarré, O. Tomico. "Bipolar laddering (BLA): a participatory subjective exploration method on user experience." *Proceedings of the 2007 conference on Designing for User eXperiences*. ACM, 2007.
- [25] M. Pérez Cota, J. Thomaschewski, M. Schrepp, R. Gonçalves "Efficient Measurement of the User Experience. A Portuguese Version", *Procedia Computer Science* 27, 491-498, 2014
- [26] Gonçalves, Ramiro; Martins, José L. B; Pereira, Jorge; Oliveira, Manuel L. A; Ferreira, João J. P. "Enterprise Web Accessibility Levels Amongst the Forbes 250: Where Art Thou O Virtuous Leader?", *Journal of Business Ethics* 107, 1, 1 - 15. doi: 10.1007/s10551-012-1309-3, 2012



## 5.2 Artículo 2

2016

Giménez, L., Navarro, I., & Cabrera, A. (2016). **Aproximación de superficies para la ejecución de bóvedas tabicadas**. EGA. *Revista de expresión gráfica arquitectónica*, 21(27), 220-231. DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/ega.2016.4742>

### RESUMEN

La dificultad que presenta la ejecución de bóvedas tabicadas del tipo “falsa vaída” o “quatre punts” con aparejo en diagonal, es la del replanteo con rasillas en el sencillado de las primeras hiladas, al marcar el ritmo de la fábrica y el rejuntado. La continuidad de las juntas delata la buena ejecución de la bóveda, aproximándose ésta a una superficie de traslación, realizada por el desplazamiento curvilíneo de dos cimbras paralelas. La experiencia en la ejecución por este complejo método demuestra que aparecen desajustes y errores al perderse el rejuntado inicial y no poder seguir una geometría concreta.

Una solución válida consiste en aproximar la bóveda a una superficie tórica, aquella generada por la revolución del arco generatriz tomando como eje la recta perpendicular al centro del arco directriz. Las diferencias de proporción entre ambas superficies son mínimas, pero con esta segunda opción aumenta el control del operario sobre el replanteo y ejecución, al usar cimbras que generan una secuencia repetitiva para las hiladas.

INDICE: Arts & Humanities Citation Index (Web of Science), Scopus (SJR Q2, Visual Arts and Performing Arts), Avery, Dialnet, Miar (ICDS = 10.9), FECYT, CARHUS+ 2014 (grupo C), CIRC (grupo A en Ciencias Humanas), Latindex.

### ALCANCE

El presente artículo anticipa lo que será un tipo de proyectos donde los avances en nuevas tecnologías desde la representación arquitectónica tienen una aplicación directa en procesos constructivos reales. Los análisis geométricos generados con herramientas informáticas específicas y sistemas de visualización con gafas de RV se han integrado en la ejecución de un proyecto singular. Este caso propone una línea de trabajo desde la experimentación del espacio virtual hasta los procesos de edificación como muestra de la aplicabilidad profesional. Esta última experiencia se enmarca en la investigación

desarrollada en un proyecto singular de edificación. Esta es una línea de investigación futura a potenciar en las diferentes etapas del proceso constructivo.

## APROXIMACIÓN DE SUPERFICIES PARA LA EJECUCIÓN DE BÓVEDAS TABICADAS

## APPROXIMATION OF SURFACES FOR THE EXECUTION OF TIMBREL VAULTS

Luis Giménez Mateu, Isidro Navarro Delgado,  
Alberto Cabrera Guardiola

doi: 10.4995/ega.2016.4742

La dificultad que presenta la ejecución de bóvedas tabicadas del tipo “falsa vaída” o “quatre punts” con aparejo en diagonal, es la del replanteo con rasillas en el sencillado de las primeras hiladas, al marcar el ritmo de la fábrica y el rejuntado. La continuidad de las juntas delata la buena ejecución de la bóveda, aproximándose ésta a una superficie de traslación, realizada por el desplazamiento curvilíneo de dos cimbras paralelas. La experiencia en la ejecución por este complejo método demuestra que aparecen desajustes y errores al perderse el rejuntado inicial y no poder seguir una geometría concreta.

Una solución válida consiste en aproximar la bóveda a una superficie tórica, aquella generada por la revolución del arco generatriz tomando como eje la recta perpendicular al centro del arco directriz. Las diferencias de proporción entre ambas superficies son mínimas, pero con esta segunda opción aumenta el control del operario sobre el replanteo y ejecución, al usar cimbras que generan una secuencia repetitiva para las hiladas.

**PALABRAS CLAVE: BÓVEDA TABICADA. FÁBRICA DE RASILLA. SUPERFICIE DE DOBLE CURVATURA. SUPERFICIE DE TRASLACIÓN. TOROIDE. SUPERFICIE TÓRICA. IGLESIA ORTODOXA RUMANA BARCELONA**

*The difficulty presented in the execution of “domical vault” or “quatre punts” timbrel vaults with diagonal brickwork is that of the marking out with cladding tiles in the layering of the first rows, when setting the pace of the construction and joins. The continuity of the joins is a sign of the good execution of the vault, resembling a translational surface made by the curved movement of the two parallel falsework systems. Experience in the execution of this complex procedure proves that faults and errors appear as the initial joins are lost and it is not possible to follow a specific geometry.*

*A valid solution consists of approaching the vault as a toric surface, generated by the revolution of the generatrix arch taking the axis to be the vertical line perpendicular to the guide arch. The differences in proportion between the two surfaces are minimal, but with this second option the workman has more control over the marking out and execution, by using falsework systems that generate a repetitive sequence for the rows.*

**KEYWORDS: TIMBREL VAULT, CONSTRUCTION USING CLADDING TILES, DOUBLE CURVATURE SURFACE, TRANSLATIONAL SURFACE, TORUS, TORIC SURFACE, ROMANIAN ORTHODOX CHURCH BARCELONA**



1

El uso de las bóvedas tabicadas vuelve a ser interesante para aquellas arquitecturas que pretenden aportar un grado más de singularidad y modernidad a sus espacios interiores. Actualmente se están convirtiendo en preciados estandartes de las denominadas construcciones sostenibles por hacer uso de materiales cerámicos y pétreos, con ausencia de acero y en detrimento de las complejas tecnologías. También se autodefine como “construcción inteligente” por solucionar de un modo racional y sencillo problemas espaciales y a la vez estructurales, ya que sus formas no solo pueden definir cualquier tipo de superficie (reglada, alabeada, libre...) sino que además pueden soportar carga estructural. El vocablo inteligente, en este caso, se puede asociar también a los operarios y albañiles que solo con el conocimiento y la experiencia son capaces de resolver las complicadas estructuras con el empleo de materiales tan básicos como ladrillos, yeso, mortero o cemento rápido.

No son muchos los libros y escritos que narran sus bondades estructurales y exponen las características de una

tipología constructiva de carácter tan tradicional en España **1**. Para mayor desaire, el Código Técnico de la Edificación **2** prácticamente no cita ni prevé en sus documentos que un forjado o losa de escalera pueda ser construida actualmente con bóvedas tabicadas. Solamente en el DB-SE-F **3** se deducen las consideraciones a tener en cuenta para fábricas de ladrillo en muros, pero no en bóvedas, por mucho que se quiera asociar estas a los ensayos realizados en paramentos verticales, cuando en realidad no lo son.

Sorprende que una tecnología tan preciada por el mismo Eduardo Torroja **4**, tan experimentada por Rafael Guastavino, o por el mismo Antoni Gaudí en “La Pedrera”, y tan arraigada a comunidades como Cataluña, Valencia o Extremadura, no tenga cabida como elemento estructural en la legislación española actual y solo se pueda considerar asociada a temas de patologías y rehabilitación, o como elementos de falso techo y decoración, siempre sin capacidad estructural.

Dentro de estos parámetros se encuentra la obra en construcción de la Iglesia Ortodoxa Rumana de Barcelo-

**1. Interior de la cripta con sus bóvedas. Fotografía de los autores**

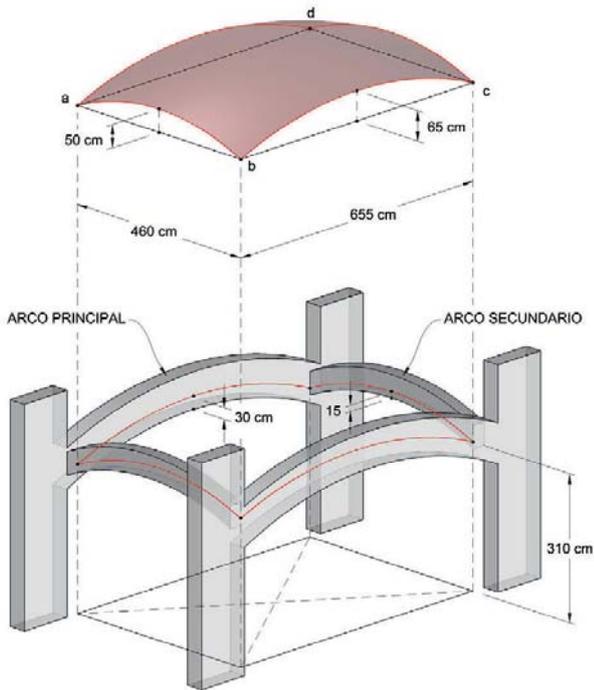
**1. Interior of the crypt with its vaults. Authors' photograph**

The use of timber vaults is again of interest for architectures that aim to provide another level of uniqueness and modernity to their interior spaces. They are currently becoming prized archetypes of sustainable construction due to the use of ceramic and stone materials, with the absence of steel and to the detriment of complex technology. They are also self-defined as “smart construction” as they provide a simple, rational solution to spatial and yet structural problems, as their shapes can not only define any type of surface (ruled, warped, free, etc.) but that in addition can withstand a structural load. The word ‘smart’, in this case, can also be associated with the workmen and bricklayers, who with their knowledge and experience alone are able to resolve complicated structures with the use of materials as basic as bricks, plaster, mortar or quick cement.

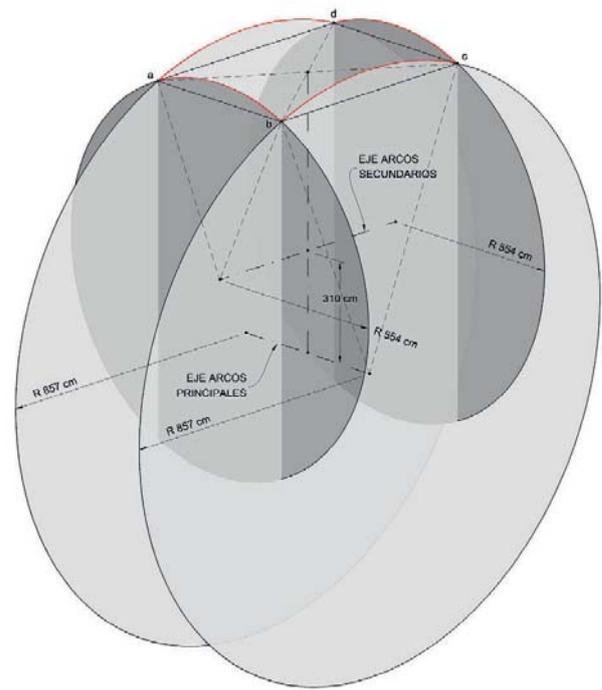
There are not many books and articles that describe their structural benefits and set out the characteristics of a construction type that is so traditional in Spain **1**. And as a further rebuff, the Technical Building Code **2** barely mentions or envisages in its documents that a floor or stairway slab may currently be constructed with timber vaults. Only in the DB-SE-F **3** are the considerations to be taken into account for brickwork in walls deduced, but not in vaults. As much as we may wish to link these to the tests performed on vertical paraments, they really are not.

It is surprising that a technology that was so highly valued by Eduardo Torroja himself **4**, so frequently used by Rafael Guastavino, or even by Antoni Gaudí in “La Pedrera”, and so deeply rooted in Spanish regions such as Catalonia, Valencia and Extremadura, is not accommodated as a structural element in the current Spanish legislation and can only be considered linked to matters of pathologies and restoration, or as elements such as false ceilings and decoration, with no structural capacity.

These parameters include the construction site of the Romanian Orthodox Church of Barcelona **5**. It is a building of worship whose architecture is governed, for liturgical and historical reasons, by the Byzantine royalties inherited by the Orthodox temples in many Eastern European countries. Although partially exempt from compliance with the Technical Building Code, the project for its crypt includes three timber vaults as a false ceiling of the principal nave. These vaults are self-supporting, without applied live loads, with



2



3

a purely representative function. They are also used to hide the ducts that run through the open spaces between them and the upper floor slabs, the *naos 6* floor of the Church.

Each timber vault begins at a height of 3.10 and four perimeter arches of reinforced concrete distribute the pressure. The main arches, along with the pillars, form a repeated gantry of four units in the hall, and between them there are the secondary arches by way of a brace. The plan-view projection of the arches leaves a rectangular open space of 655 cm x 460 cm for each vault, and the arches are parallel with the same radius, two by two.

The four initial circular arches of the vault are reduced or "lowered arches", contained in the vertical plane, with a proportion between the horizontal chord and its height of approximately 10:1. The fact that the four arches have a similar proportion (10:0.99 for the principal and 10:1.08 for the secondary) is an initial condition of the project to avoid seeing different families of arches and thus standardise the view as a whole.

The vault is designed so that its perimeter follows the curvature of the arches starting between 15 and 30 cm from their lower limit, resting on channels 2 cm deep by 5 cm high made on the exposed concrete, then bush-hammered manually.

na 5. Se trata de un edificio de culto que, por motivos litúrgicos e históricos, su arquitectura se rige por los cánones bizantinos que heredaron los templos ortodoxos en buena parte de los países del este europeo. Aunque exento parcialmente de cumplimiento del Código Técnico de la Edificación, en su cripta se han proyectado tres bóvedas tabicadas como falso techo de la nave principal. Estas bóvedas son auto portantes, sin sobrecargas aplicadas, con una función puramente representativa. También se utilizan para ocultar los conductos que discurren en el espacio libre que queda entre ellas y el forjado superior, suelo del *naos 6* de la Iglesia.

Cada bóveda tabicada nace a 3,10 metros de altura y sus empujes los recogen cuatro arcos perimetrales de hormigón armado. Los arcos principales, junto a los pilares, forman en la sala un pórtico repetitivo de cuatro unidades, y entre ellos se sitúan los arcos secundarios a modo de riostra. La proyección en planta de los arcos deja

un espacio libre rectangular para cada bóveda de 655 cm x 460 cm, siendo los arcos paralelos y con el mismo radio, dos a dos.

Los cuatro arcos circulares de inicio de la bóveda son de tipo rebajado o de "punto hurtado", contenidos en plano vertical, con una proporción entre la cuerda horizontal y su altura de 10:1 aproximadamente. Que los cuatro arcos tengan una proporción parecida (10:0,99 el principal y 10:1,08 el secundario) es una condición inicial del proyecto para evitar la visualización de diferentes familias de arcos y homogenizar así la visión del conjunto.

La bóveda está planteada para que su perímetro siga la curvatura de los arcos comenzando entre 15 y 30 cm desde el límite inferior de estos, descansando en unas rozas de 2 cm de profundidad por 5 cm de altura realizadas sobre el hormigón visto, posteriormente abujardado manualmente.

El tipo de bóveda que se busca se denomina falsa vaída 7 o de "quatre punts" 8, inicialmente generada por el



- 2. Esquema geométrico de partida para las bóvedas
  - 3. Definición geométrica del encaje por círculos
  - 4. Primera hilada ejecutada sin el uso de cimbras.
- Fotografía de los autores

- 2. Geometric starting diagram for the vaults
- 3. Geometric definition of the fit using circles
- 4. The first row executed without the use of a falsework system. Authors' photograph

desplazamiento de una generatriz curva a lo largo de una directriz también curva, contenidas ambas siempre en planos verticales.

Los requisitos iniciales de los arcos y su posición determinan directamente sus radios y la altura de sus centros, en plano vertical. Al iniciarse los cuatro arcos en sendos cuatro vértices de intersección (a,b,c y d), causa que los círculos principales y los secundarios tengan los ejes perpendiculares a sus centros a diferente altura (310 cm), lo cual produce que la superficie de la bóveda no pueda resolverse como un casquete esférico.

Al contrario de lo que pueda parecer, evitar la superficie esférica es adecuado por varios motivos:

- Para evitar "... *la innecesaria complicación del corte de piezas al aparejar por anillos.*" **9**, si las bóvedas fueran esféricas.
- Por razones económicas, para no tener que construir o adquirir hasta tres encofrados esféricos, uno para cada bóveda.
- Por no utilizar cimbras con radios diferentes, ni tampoco cimbras en posición radial, de difícil encuentro con un perímetro rectangular.
- Para optimizar la virtud de las bóvedas tabicadas, utilizando cimbras ligeras y no encofrados bajo grandes porciones de su superficie.

La tradición constructiva demuestra que las bóvedas tabicadas de pequeñas dimensiones carecen de cimbras o encofrados, y que el albañil experimentado posee el conocimiento para una ejecución rápida y más o menos precisa en su resolución. Se añade el inconveniente de la ausencia de mano de obra especializada para ejecutar bóvedas de gran tamaño y dificultad, dada la baja demanda de este original tipo de construcciones.



4

Los escritos analizados narran como condición importante la experiencia de los albañiles y su buen hacer.

Como condicionante inicial, para aumentar la calidad y complejidad de las bóvedas, se determina un aparejo en diagonal o "*a la mescla*" **10**, es decir, con una visualización de las rasillas giradas 45° en planta respecto los límites ortogonales de la bóveda. También se requiere mantener el rejuntado de las rasillas con un espesor cercano al centímetro, y utilizar, en la medida de lo posible, rasillas entera sin recortar ni rebajar. Con ello se añade una mayor precisión y esbeltez al aparejo de la bóveda, realzando su buena ejecución.

En una primera etapa se inicia la ejecución sin cimbra, solamente con la experiencia del albañil que coloca con yeso la primera capa de rasillas, las que se quedarán vistas, denominada "el sencillado". Se descarta de inicio la posibilidad de empezar por las cuatro esquinas a la vez, dada la dificultad de hacer coincidir piezas enteras en las claves de los arcos, y la compleja ejecución controlando cuatro extremos a la vez.

La primera hilada se soporta en la roza habilitada en el lateral de los arcos de hormigón. Para que las rasillas tengan el vértice en la roza, hay que añadir entre ellas piezas en forma de triángulo isósceles, de modo que su hipotenusa esté en la roza. Sucesiva-

The type of vault sought is called a domical vault **7** or "*quatre punts*" (meaning "four-points" in Catalan) vault **8**, initially generated by the displacement of a curved generatrix along an also curved guide, both contained in vertical planes. The initial requirements of the arches and their position directly determine their radii and the height of their centres on the vertical plane. Initiating the four arches in the four intersection vertices (a, b, c and d) gives the main and secondary circles axes perpendicular to their centres at different heights (310 cm), which means that the surface of the vault cannot be resolved as a spherical cap.

Unlike what it may seem, avoiding a spherical surface is appropriate for various reasons:

- To avoid "... *the unnecessary complication of cutting bricks as they are laid in rings.*" **9**, if the vaults were spherical.
- For economic reasons, so as not to have to build or acquire up to three spherical pieces of shuttering, one for each vault.
- So as not to use shoring systems with different radii, nor shoring systems in radial positions, which are hard to solve when they have a rectangular perimeter.
- To optimise the virtue of the timber vaults, using light shoring systems and no shuttering under large portions of its surface.

The constructive tradition proves that small timber vaults lack shoring systems or shuttering, and that the experienced bricklayer has the knowledge to execute it quickly and more or less accurately. There is however the absence of specialised labour for executing large, difficult vaults, given the low demand for this original construction type. The articles analysed highlight the importance of the bricklayer's experience and good workmanship.

As an initial constraint to increase the quality and complexity of the vaults, a diagonal or "*mixed*" **10** bricklaying is laid out, in other words, with the cladding tiles rotated 45° on the plan view with respect to the orthogonal limits of the vault. It is also necessary to maintain the joins of the cladding tiles with a thickness of close to one centimetre, and use, wherever possible, whole cladding tiles, without cutting or trimming. This brings greater accuracy and slenderness to the appearance of the vault, enhancing its good execution.

The first stage begins with the execution without a falsework system, but the experience of the



bricklayer who places the first layer of cladding tiles with plaster, those that will be visible. The layering of this first row is known in Spanish as “*el sencillado*”. The possibility of starting at the four corners at the same time is ruled out from the start, given the difficulty of making whole tiles coincide at the keystones of the arches, and the complex execution monitoring four ends at the same time.

The first row is supported in the channel made in the side of the concrete arches. For the cladding tiles to have the vertex in the channel, it is necessary to add tiles in the form of an isosceles triangle, so the hypotenuse is in the channel. Then they are doubled with cladding tiles with grooves on both sides, secured with cement mortar and placed in a herringbone layout, up to a total of three layers.

Angel Trunó explains it in its book 11, “*in the “quatre punts” vault the joins do not concur at an axis or centre. Quite the opposite, they are parallel, and can be defined as “curved-axis cylinders”, with the joins perpendicular to this axis, vertical and, consequently, parallel to each other*”.

It is important to note that the definition is correct if we are dealing with regular bricklaying, with continuous bricks, but not when it is diagonal. In this second case the visual alignment of the joins in both directions corresponds to the approximation to elliptical curves, resulting from flat non-vertical sections of the vault surface, that are complex to mark out on the construction site.

The difficulty in the execution of the second row, the large dimensions to cover and, above all, the various failed tests, lead to a reconsideration of the process seeking help from guiding falsework systems. Falsework systems or shuttering can be very light, as they only withstand the loads of the different rows and not the whole vault. Their simplicity is usually used to establish them as guides and reference runs, to prevent errors during the execution process.

The second stage provides the geometric solution to the vault, approximating it to a translational surface. This is obtained by offsetting one of the arches (generatrix) along the other (guide) on the perpendicular plane. Thus it is executed with the help of a falsework system cut away at the top in the form of a secondary arch (shorter), that is moved, maintaining a vertical plane at all times,

mente se ira doblando con rasillas con ambas caras rayadas, sujetas con mortero de cemento y colocadas a rompe juntas, hasta un total de tres capas.

Angel Trunó explica en su libro 11, “*en la bóveda de “quatre punts” no hay concurrencia de juntas a un eje o centro, muy al contrario, hay paralelismo de juntas, pudiéndose definir como “cilindros de eje curvo”, con las juntas normales a este eje, verticales y por lo tanto paralelas entre sí*”.

Cabe matizar que la definición es correcta si el aparejo es corriente, con piezas continuas, pero no cuando el aparejo es en diagonal. En este segundo caso la alineación visual de las juntas en ambos sentidos corresponde a la aproximación a curvas elípticas, resultado de secciones planas no verticales de la superficie de la bóveda, de complejo replanteo en obra.

La dificultad en la ejecución de la segunda hilada, las grandes dimensiones a cubrir y sobretodo, los diferentes ensayos fallidos, hacen replantear el proceso para que este se ayude de cimbras-guía. Las cimbras o encofrados pueden ser muy ligeros, ya que solo soportan las cargas de las diferentes hiladas y no toda la bóveda. Su sencillez suele aprovecharse para establecerlos como guías y recorridos de referencia, para no errar durante el proceso de ejecución.

En la segunda etapa se da una la solución geométrica a la bóveda, aproximándola a una superficie de traslación. Ésta se obtiene por el desplazamiento de uno de los arcos (generatriz) a lo largo de del otro (directriz) situado en el plano perpendicular. De este modo la ejecución se realiza con la ayuda una cimbra recortada superiormente en forma de arco secundario (más corto), que se va desplazando, manteniéndose siempre en un pla-

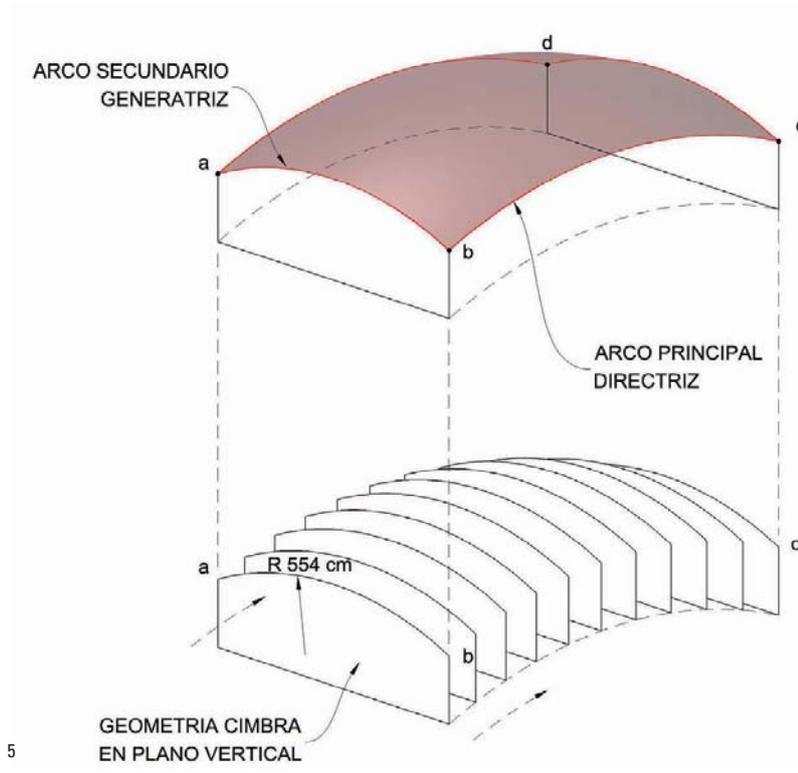
no vertical, a lo largo del desarrollo del arco principal.

Este procedimiento es muy evidente, y facilita la comprensión y visualización de la superficie a ejecutar a los operarios y albañiles. La dimensión de la rasilla es de 28 x 13,5 x 1 cm, con acabado liso en su cara inferior y rayada en la superior, siendo las rasillas dobladas (las de las siguientes capas) con rayado en ambas caras para obtener una mayor adherencia del mortero.

Para ello se construyen dos cimbras con las dimensiones del arco generatriz, que se colocan en paralelo separadas por una distancia calculada para que descansen rasillas tanto de una hilada como de la sucesiva. La finalidad es que las juntas tiendan a proyectarse a 45 ° sobre un plano tangente a la superficie aproximada de la bóveda en cada punto.

Las dos cimbras se desplazan en paralelo sobre la curvatura del arco de mayor longitud (directriz) manteniéndose siempre en vertical, y por tanto abarcan diferentes alturas entre las dos a modo que avanzan hasta el punto más alto o clave. También la distancia horizontal entre cimbras es variable a medida que se suceden las hiladas, dado que la distancia entre vértices más alejados de dos rasillas pertenecientes a dos hiladas sucesivas es de 47 cm, en el inicio de la bóveda, con rasillas inclinadas 21,7°. Cuando la construcción llega a su parte central (clave del arco directriz) la anterior distancia ha aumentado hasta 49,9 cm debido a que la inclinación de las rasillas ha disminuido hasta colocarse en horizontal.

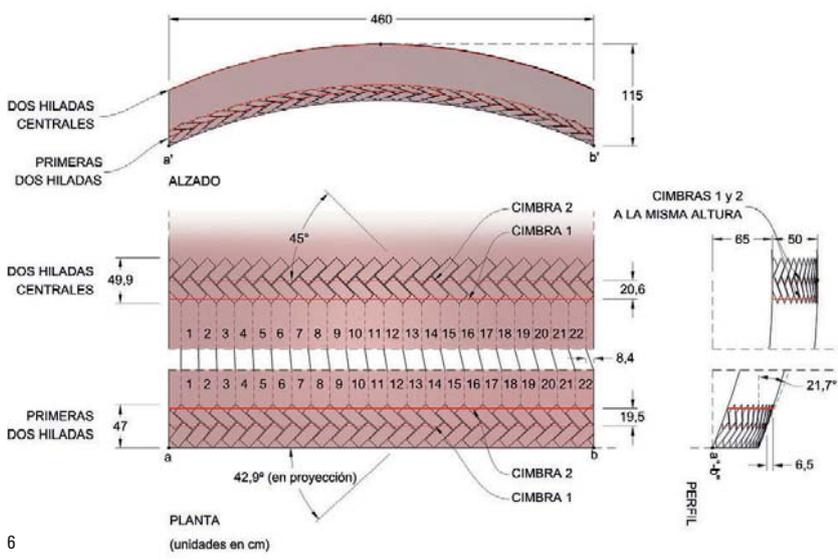
Las sucesivas hiladas se ejecutan ajustando el largo de la nueva rasilla sobre el corto de la ya presentada, previo desplazamiento en doble dirección de las cimbras; en horizontal,



5 GEOMETRIA CIMBRA EN PLANO VERTICAL

5. Esquema de montaje para la superficie de traslación  
6. Proyecciones de la bóveda ejecutada por traslación

throughout the development of the principal arch. This procedure is very evident, and facilitates the comprehension and visualisation of the surface to execute by the workmen and bricklayers. The dimensions of the cladding tile are 28 x 13.5 x 1 cm, with a smooth finish on the lower face and grooved on the top. The doubled cladding tiles (those of the following layers) have grooves on both sides for greater mortar adherence. For this purpose two falsework systems are built with the dimensions of the generatrix arch, which are placed in parallel at a distance calculated so that the cladding tiles of both one row and the next rest on them. The aim is for the joints to project at 45° on a plane tangential to the approximated surface of the vault at all points. The two falsework systems are moved in parallel along the curvature of the longest arch (guide), kept vertical at all times, and therefore the different heights between the two constantly change as they advance towards the highest or key point. The horizontal distance between the falsework systems varies as the rows are constructed, as the distance between the furthest vertices from two cladding tiles in two successive rows is 47 cm, at the start of the vault, with cladding tiles at an angle of 21.7°. When the construction reaches its central part (keystone of the guide arch) the previous distance has increased to 49.9 cm because the inclination of the cladding tiles has been gradually reduced to the horizontal.



6 PLANTA (unidades en cm)

The successive rows are executed fitting the long edge of the new cladding tile to the short edge of the one already placed, with a double-direction offset of the falsework system. On the horizontal, the distance between them is modified. On the vertical, the height between them is varied. The double curvature of the surface to cover means that with each offset the cladding tile has a different position and therefore the joint between them is also different. It is not parallel, but rather trapezoidal, adapting between 1 and 2 mm depending on the position. As indicated in Figure 6, if diagonal tiling is maintained at 45°, the breakdown into 22 units of the first rows becomes another 22 in the central part. The problem lies in that in the distribution there is a difference of 8.4 cm, which must be corrected by the workman in the intermediate rows by cleverly retouching the joints. It is important to indicate that the figures only

se modifica la separación entre ellas y también en vertical, variando la altura entre ellas. La doble curvatura de la superficie a cubrir causa que en cada desplazamiento la rasilla tenga una posición diferente y por tanto la junta entre ellas sea también diferen-

te, ya no paralela, sino de forma trapezoidal, adecuando entre 1 y 2 mm según la posición.

Como se indica en la figura 6, si se mantiene el aparejo diagonal a 45°, el despiece en 22 unidades de las primeras hiladas se convierte en otras 22 en



7. Primeras hiladas utilizando la doble cimbra paralela. Fotografía de los autores  
 8. Bóveda ejecutada por el método de traslación. Grafiada la curva libre que define una supuesta alineación en diagonal. Fotografía de los autores

represent the lower face of each cladding tile (the visible face) to avoid the confusion caused by very close double lines when the thickness of the tiles is represented.

The increase in the thickness of the join is more obvious in the upper doubling, as a herringbone layout is made. This is because the vault has a greater radius in the double curvature, so the doubled cladding tiles are further apart.

The continuation of the vault entails irregular movements of the falsework system in both directions, continuous changes in the orientation of the tiles, a loss of parallelism in the joins with continuous corrections to counteract different thicknesses... These disadvantages make it necessary to introduce new guides or axes, other than the falsework system, so that the workman has visual references to continue the vault. The joins must line up and adjust to continuous curves, which is a sign of good execution. In this present case, the join alignment is distorted following non-flat, sinusoidal curves, impossible for the workman to mark out from the start as they cannot be viewed previously, or draw or shutter in the rest of the unvaulted space.

The result is the constant change in the angle of the cladding tiles and the loss of continuity in the joins as there are no clear references for marking out. Continuing with the vault in these conditions leads to the final result of bricklaying that cannot be received, adjusted randomly in the hands of the professionalism of the workman. In this case, specialised workmanship is not enough to hide the accumulated lack of fit.

Taking into account the previous result and the fact that the surface to cover is translational, although apparently easy to comprehend, it is extremely complex to develop a breakdown of tiles at 45°. Only parametric editing programs can provide the exact position and angle of every tile and the variable thickness of the joins, which must be marked out at the construction site with the aid of specific topographic tools, contradicting the common sense of the technique.

Angel Truñó defines it perfectly 12, "if the curvature is variable, "mixed" bricklaying is difficult to use, as the square does not adapt to the curvature of the vault, so the cladding tiles must be retouched, which goes against the essence of 'el sencillado'".

After the two failed stages, it was decided to study noteworthy examples in search of



7



8

la parte central. El problema yace en que en su reparto aparece una diferencia de 8,4 cm, que deberá ser corregida por el operario en las hiladas intermedias con un hábil retoque en las juntas. Cabe indicar que en las figuras se ha representado únicamente cara inferior de cada rasilla (la aparente) para evitar la confusión con dobles líneas muy próximas si se representan los gruesos de las piezas.

El aumento en el espesor de las juntas se hace más patente en el doblado superior, que se realiza rompe juntas, dado que al tener la bóveda un mayor radio en la doble curvatura, las rasillas dobladas se distancian más entre ellas.

La continuación de la bóveda conlleva desplazamientos irregulares de la cimbra en ambas direcciones, continuos cambios en la orientación de las piezas, pérdida de paralelismo en el

7. First rows using the parallel double falsework system. Authors' photograph

8. Vault executed using the translational method. The blue line shows the free curve that defines a supposed diagonal alignment. Authors' photograph

rejuntado con continuas correcciones para absorber su diferencia de grosor. Estos inconvenientes hacen necesaria la introducción de nuevas guías o directrices, diferentes de las cimbras, para que el operario tenga referencias visuales para proseguir la bóveda.

Es preciso que las juntas deban alinearse y ajustarse a curvas continuas, señal de buena ejecución. En el presente caso la alineación de juntas se desvirtúa siguiendo curvas no planas y sinusoidales, imposibles de replantear por el operario desde el inicio por no poderlas visualizar previamente ni dibujar o encofrar en el resto de espacio sin bóveda.

El resultado es el constante cambio en la inclinación de las rasillas y las pérdidas de continuidad de las juntas al no tener referencias claras para el replanteo. Seguir con la bóveda en estas condiciones conduce a que el resultado final sea un aparejo que no se puede recibir, ajustado aleatoriamente en manos de la profesionalidad del operario. La mano de obra especializada en este caso no es suficiente para disimular los desajustes acumulados.

Con el resultado anterior y el hecho de que la superficie a cubrir sea de traslación, aunque de aparente fácil comprensión, es de extrema complejidad para desarrollar un despiece de piezas a 45°. Solo programas de edición paramétrica pueden dar la posición e inclinación exacta de cada pieza y los gruesos variables de sus juntas, que deberá replantearse en obra con ayuda herramientas topográficas precisas, contradiciendo el sentido común de la técnica.

Lo define perfectamente Angel Truñó 12, "si la curvatura es variable, el aparejo a la "mescla" es difícil de emplear, por no adaptarse la escuadra a la curvatura de la bóveda, debiéndose



9. Fotografía de las bóvedas del Bridge Market, bajo el puente de Queensboro en Nueva York, proyectado por Guastavino. (grafiada la curva no regular que define el final de la primera hilada entera). Fotografía original: <https://ephemeralnewyork.files.wordpress.com/2014/01/bridgemarket3.jpg>

9. Photograph of the vaults of Bridge Market, under the Queensboro Bridge in New York, designed by Guastavino. (The irregular curve that defines the end of the first whole row is shown). Original photograph: <https://ephemeralnewyork.files.wordpress.com/2014/01/bridgemarket3.jpg>

*de retocar las rasillas, cosa contraria a la esencia del sencillado*".

Tras las dos etapas fallidas, se decide efectuar un estudio sobre ejemplos notables para buscar soluciones. En los pabellones modernistas del Hospital de Sant Pau de Barcelona se encuentran bóvedas con este aparejo en diagonal, pero los arcos son realizados o de medio punto, lo cual impide de por sí iniciarlas con hiladas enteras. En otros casos las bóvedas son casquetes esféricos casi planos, con muy poca curvatura, donde las diferencias se absorben fácilmente con el rejuntado habitual.

Caso aparte son las bóvedas realizadas por Guastavino en su obra americana, donde se observa en ejemplos con aparejo en diagonal, que la primera hilada no es paralela al arco y tampoco se colocan todas las rasillas enteras.

En la tercera etapa, aplicada a la siguiente bóveda, se intentan solucionar los problemas de ejecución aproximándola esta vez a una superficie tórica o toroide. Otra vez Ángel Truño también hace referencia <sup>13</sup> a que el *"si el arco generador es de curvatura constante, la superficie resultante será parecida a una tórica"*, pero sin especificar más ni aportar ejemplos concretos. El toroide

se interpreta como la superficie generada por la revolución de un círculo alrededor de un eje contenido en el plano de dicho círculo, desplazando así el arco generatriz de un modo radial y no paralelo a sí mismo.

La intención es generar un módulo de repetición único, que en lugar de desplazarse, gire en referencia al eje del toroide. Por un lado exhibe mayor dificultad de ejecución por el desplazamiento radial de las cimbras, por otro lado se obtiene una mayor precisión al tener cada módulo la misma distancia entre cimbras, marcando una pauta de replanteo idéntico para cada movimiento.

Las rasillas empleadas son de elaboración mecánica, industrializada, con los cantos rectos y unas dimensiones muy precisas, lo cual produce que se aprecien con mayor evidencia los errores en la continuidad de juntas. Aunque en el ejemplo no se ha llevado a cabo, es conveniente el uso de rasillas de elaboración manual. A pesar de su mayor coste económico, sus cantos romos y desiguales ofrecen una mayor tolerancia en su posicionamiento y rejuntado.

El toroide a generar se denomina toroide por husos, ya que su eje es en

solutions. In the modernist pavilions of the Sant Pau Hospital in Barcelona there are vaults with this diagonal brickwork, but they are enhanced or mid-point arches, which means they cannot be started with whole rows. In other cases the vaults are almost flat spherical caps, with very little curvature, where the differences are easily absorbed with the usual joints.

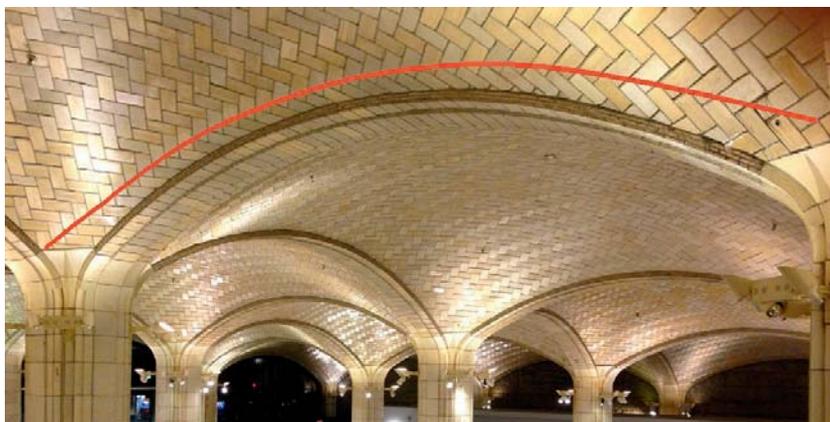
The vaults by Guastavino in his American work are a different case. They include examples with diagonal brickwork, where the first row is not parallel to the arch and the tiles are not all placed whole.

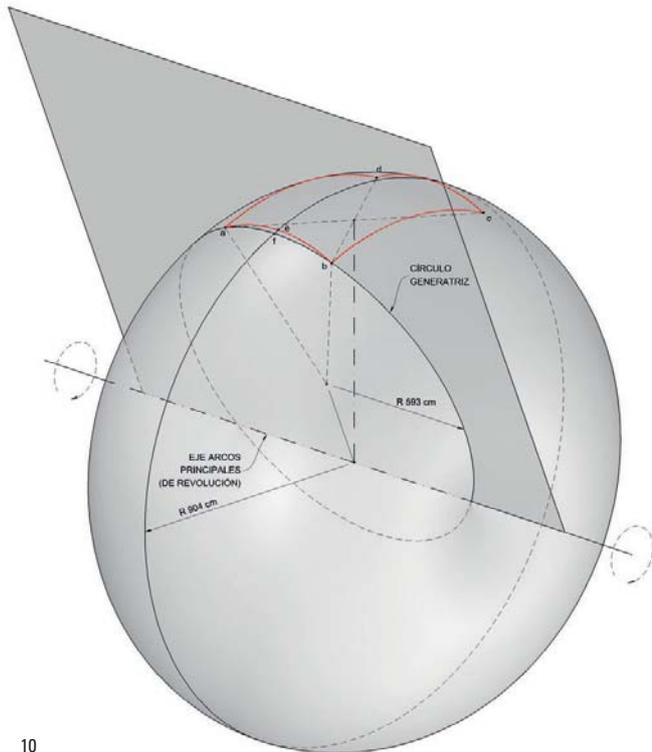
In the third stage, applied to the next vault, this time an attempt is made to solve the problems of execution by constructing a surface as close to a toric surface or torus as possible. Once again Ángel Truño <sup>13</sup> says that *"if the generator arch has a constant curvature, the result will be similar to a toric surface"*, but without specifying further or providing specific examples. The torus is interpreted as the surface generated by the revolution of a circle around an axis contained in the plane of this circle, thus displacing the generatrix arch radially and not parallel to itself.

The intention is to generate a single repetition module that, instead of being offset, rotates around the axis of the torus. On one hand it is more difficult to execute due to the radial movement of the falsework system, however greater accuracy is obtained as every module has the same distance between falsework systems, with an identical marking guide for every movement.

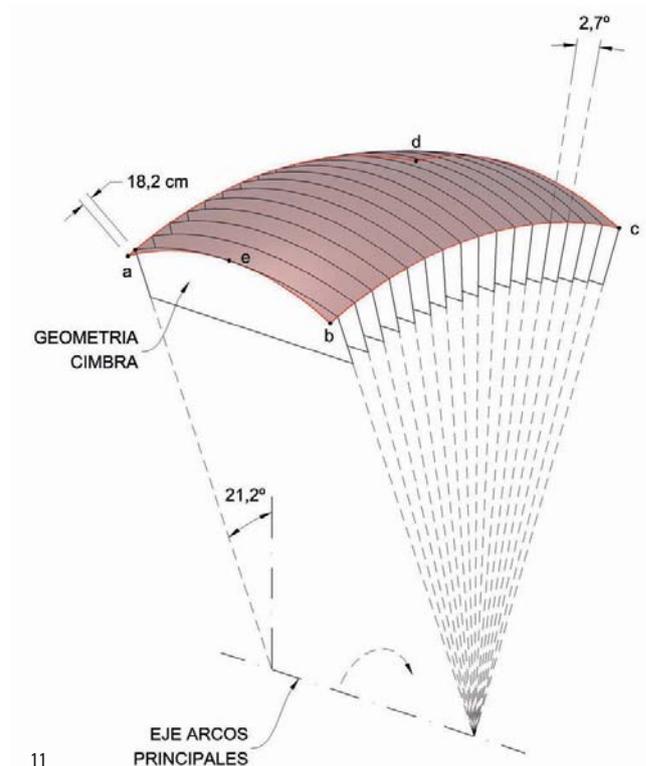
The cladding tiles used are mechanically, industrially manufactured with straight sides and very specific dimensions, which means that errors in the continuity of the joints are more evident. Although this has not been done in the example, it is advisable to use manually manufactured cladding tiles. Despite their greater economic cost, their blunt and uneven edges they provide greater tolerance in their positioning and joints.

The torus to generate is called a spindle torus, as its axis is in reality a chord of the generatrix circle. The straight line perpendicular to the centre of the main arches is used as the axis, and a new circle that passes through the points a, b and f as the generatrix. It is necessary to find this new circle, with a radius of 593 cm, because





10



11

the generatrix arch that goes through a, b and e (where e is the mid-point of the initial arch a, b) is on the vertical plane and is not a radial section of the torus.

Thus point f arises as the intersection between the plane that passes through a, b and the axis, with the circle that passes through e, with a radius of 904 cm.

The revolution means the two new falsework systems are not parallel, but that they are on two planes that meet at the axis of revolution, in the form of a segment **14** or wedge. The angle of opening of the two planes of the falsework systems is obtained by the diagonal position of a cladding tile, and the two will rotate the degrees together until the vault is completed. In the case presented, the repetition module for two rows at 45° covers an angle of 2.7°.

As analysed previously, the initial row cannot be whole cladding tiles, due to the fact that the plane of the falsework system, at the start, is angled at 21.2° and must pass through point e. This means the gap must be filled in with off-cuts of cladding tiles until the vertical plane of the upper arch is reached. Positioning the first truss well sets the pace of the vault, and together with the second, the radial sequence is found that is repeated round and round without varying the proportions throughout the movement.

realidad una cuerda del círculo generatriz. Como eje se utiliza la recta perpendicular al centro de los arcos principales, y como generatriz un nuevo círculo que pasa por los puntos a, b y f. Es necesario encontrar este nuevo círculo, de radio 593 cm, dado que el arco generatriz que pasa por a, b y e (siendo e punto medio del arco inicial a,b) se encuentra en plano vertical y no es una sección radial del toroide.

El punto f surge pues como la intersección entre el plano que pasa por a, b y eje, con el círculo que pasa por e, de 904 cm de radio.

La revolución implica que las dos nuevas cimbras no sean paralelas sino que se encuentren en sendos planos que se cortan en el eje de revolución, en forma de gajo **14** o cuña. El ángulo de apertura de los dos planos de las cimbras se obtiene por la posición en diagonal de una rasilla, y las dos irán rotando los grados solidariamente hasta completar la bóveda. En el caso presentado, el módulo de repetición

para dos hiladas a 45° abarca un ángulo de 2,7°.

Como se ha analizado anteriormente, la hilada inicial no puede ir con rasilla entera dado que el plano de la cimbra, en el inicio, encuentra inclinado 21,2° debiendo pasar por el punto e. Esto implica que se deba rellenar con recortes de rasilla el hueco que se establece hasta llegar al plano vertical del arco de cabeza. El buen posicionamiento de la primera cercha marca el buen ritmo de la bóveda, y junto a la segunda, se encuentra la secuencia radial que se repite giro a giro sin variar sus proporciones durante todo el desplazamiento.

El replanteo de una hilada entre las dos cimbras también marca el espesor de las juntas, que inevitablemente son más anchas en el centro y más estrechas en los extremos (cerca de los arcos secundarios), para poder absorber las diferencias de espacio entre las dos cimbras del mismo modo. Manteniendo las juntas paralelas de 10-11 mm



10. Definición geométrica del encaje por toroide  
 11. Esquema de montaje para la superficie tórica  
 12. Bóveda con la doble cimbra orientada hacia el eje de revolución del toroide. Fotografía de los autores

10. Geometric definition of the fit using the torus  
 11. Assembly diagram for the toric surface  
 12. Vault with double falsework system oriented toward the axis of revolution of the torus. Authors' photograph

en los extremos laterales, se obtienen juntas no paralelas que oscilan entre 14 y 19 mm en la zona intermedia, próxima a la clave, de gran complejidad para su replanteo. Las rasillas centrales quedan también giradas  $0,5^\circ$  en su proyección en planta para poderse ajustar correctamente, y a medida que se aproximan a los extremos se reduce el giro en  $0,1^\circ$  cada 3 rasillas, hasta llegar a  $0^\circ$  en la rasilla más extrema, junto al arco directriz.

Los giros y cambios de posición son imperceptibles, sin embargo, el relleno de las juntas realizado en yeso blanco contrasta excesivamente con el color rojo ladrillo y delata fácilmente las discontinuidades y errores. Las juntas de mortero (no utilizadas en este proyecto) suelen ser más oscuras y por ello de buena ayuda para disimular los errores y homogeneizar los resaltes y uñas que se producen en los acomodos a la doble curvatura. El operario sabe que el replanteo del primer gajo, si es correcto, le servirá de pauta para repetir los siguientes hasta cubrir toda la bóveda.

En la cripta de la iglesia se han realizado 3 bóvedas, la central con aproximación a superficie por traslación y las laterales por tóricas, estas últimas con mejor acabado y resolución. El resultado final es que ambos tipos de superficies parten de idénticos arcos perimetrales, pero la clave en la solución tórica es 3,6 cm más baja al tener como sección intermedia un arco de 593 cm de radio, por 554 cm en la solución por traslación.

Esta diferencia de altura es prácticamente imperceptible para el espectador situado en la sala, todo lo contrario a la diferencia entre acabados, que son exagerados entre unas y otras. El elevado coste de derribar la bóveda central y ejecutarla de nuevo



12

es el motivo por el cual la propiedad decide dejarla en pie, lo cual da mayor validez al presente artículo, al poder el lector presenciar en un futuro cercano, los dos ejemplos.

A pesar de toda la documentación escrita y gráfica existente sobre bóvedas tabicadas, sin duda hay todavía aspectos importantes que no se han explicado dada la cantidad de configuraciones posibles entre tipologías, dimensiones, aparejos, rasillas etc. Con toda probabilidad, si el aparejo hubiera sido por hiladas de juntas continuas (como recomienda Luis Moya en sus escritos) y no en diagonal, la dificultad hubiera sido menor, pero al no haberse experimentado no se pueden sacar conclusiones para este artículo.

Habitualmente se realizan investigaciones y estudios sobre este tipo de bóvedas, ya ejecutadas, para analizar su geometría y bondades, pero en el ejemplo citado se encuentran los problemas de raíz al ser proactivo

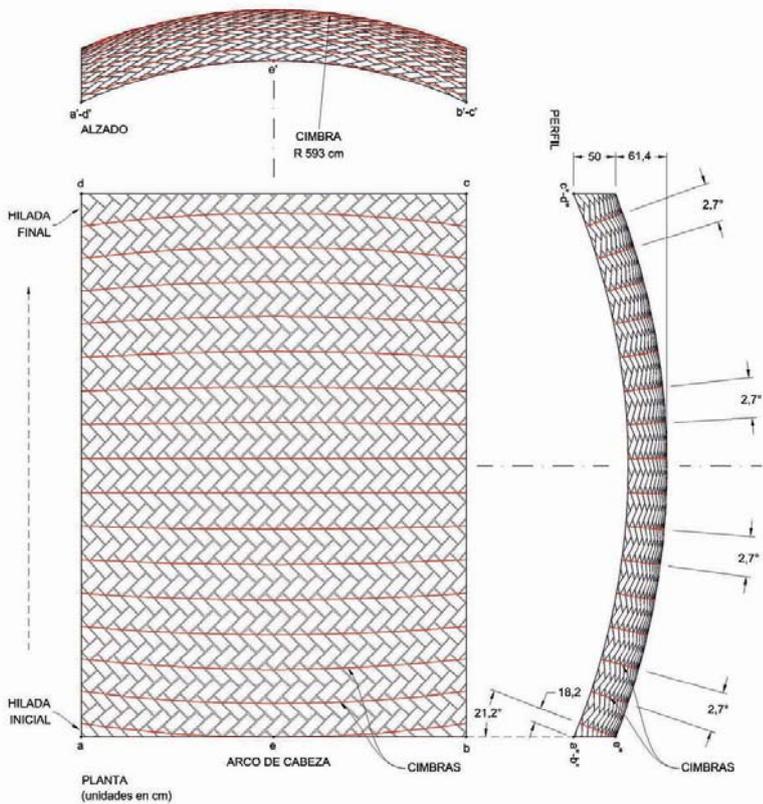
The marking out of a row between the two falsework systems also marks the thickness of the joints that are inevitably wider at the centre and narrower in the ends (near the secondary arches). In this manner, the joints are able to absorb the difference in the space between the two falsework systems in the same way. Maintaining the joints parallel at 10-11 mm at the lateral ends obtains non-parallel joints ranging between 14 and 19 mm in the intermediate area, near the key, of great complexity for marking out. The cladding tiles are also rotated  $0.5^\circ$  in the plan view so they fit correctly. As they get closer to the ends the rotation decreases by  $0.1^\circ$  every 3 cladding tiles, until it reaches  $0^\circ$  in the cladding tile at the end, where the guide arch is.

The rotation and changes in position are imperceptible; nevertheless, joints filled with white plaster contrast excessively with the red brick and easily highlight the discontinuities and errors. Mortar joints (not used in this project) are usually darker and therefore help disguise the errors and standardise the highs and lows that occur in the adjustments to the double curvature. The workman knows that marking out the first segment, if done properly, will act as a guide for repeating the next until the vault is complete.

In the crypt of the church 3 vaults have been built, the central one with a translational surface approach and the lateral vaults with a toric method. The latter have the best finish and resolution. The final result is that both types of surfaces start with identical perimeter arches, but the key in the toric solution is 3.6 cm lower as at the intermediate section it has an arch with a radius of 593 cm, and in the translation solution it is 554 cm.

This difference in height is barely noticeable by spectators in the hall, in stark contrast to the differences in the finishes, which vary greatly from one to the other. The high cost of demolishing the central vault and executing it again is the reason why the owner decided to let it stand, which gives greater validity to this paper, as soon the reader will be able to see the two examples in person.

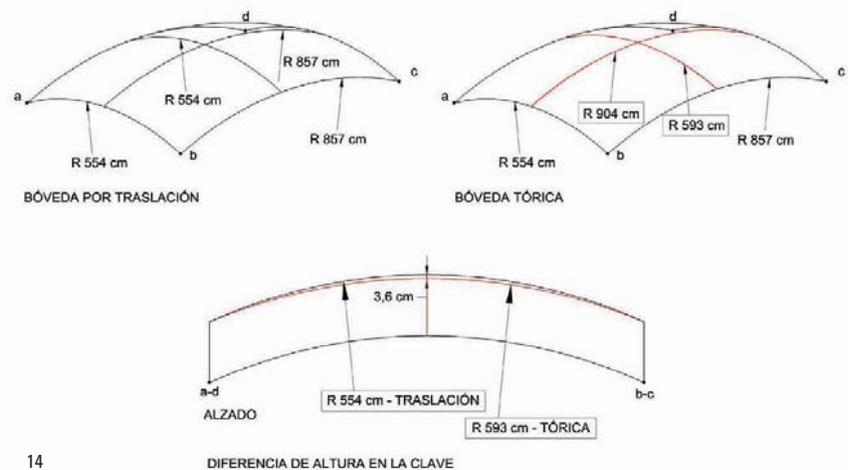
Despite all of the written and graphic documentation existing on timbered vaults, without doubt there are still significant aspects that have not been explained, given the amount of possible configurations of types, dimensions, brickwork, cladding tiles etc. In all likelihood, if



13

the brickwork had been in rows with continuous joints (as recommended in text by Luis Moya) and not diagonal, the level of difficulty would have been lower, but without trying it, conclusions for this paper could not have been drawn. Research and studies into this type of vaults are usually performed on structures that have already been built, to analyse their geometry and benefits, but in the example cited we find the intrinsic problems of handling a proactive model in which what we are used to analysing is being designed. In this sense it is advisable to approach all types of timber vault, not just a geometrically controlled surface, but rather the technology, economy and resources that are going to apply in its construction. Only in the generation using parametric systems of the digital model can we view the real positions and orientation of each cladding tile. After this it is advisable to verify the data with the everyday reality of the construction site and analyse to what extent it is worth bringing precise technology onto the construction site. It may be the only way not to depend solely on the good workmanship of the bricklayer and to be able to execute the project properly. ■

y proyectar lo que es por costumbre analizar. En este sentido es aconsejable aproximar todo tipo de bóveda tabicada, no solo a una superficie controlable geoméricamente, sino a



14

13. Proyecciones de la bóveda ejecutada por toroide
14. Diferencias finales entre ambos tipos de superficies
15. Diferencias finales entre ambos tipos de superficies. Compárese la posición y tamaño de las primeras hiladas. Fotografía de los autores
16. Bóveda ejecutada como superficie tórica

la tecnología, economía y medios que se van a aplicar en su construcción.

Solo en la generación por sistemas paramétricos del modelo informatizado se pueden visualizar las posiciones y orientaciones reales de cada rasilla. Tras ello conviene contrastar los datos con la realidad diaria de la obra y analizar hasta qué extremo compensa introducir la precisa tecnología in situ. Puede ser el único modo de no depender solamente del buen hacer del operario y poder ejecutar correctamente lo que se proyecta. ■

#### Notas

- 1/ Entre otras publicaciones, destacan las de la bibliografía del presente artículo.
- 2/ Desde 2007, el CTE (Código Técnico de la Edificación) comprende la legislación española que regula los procesos de diseño, cálculo y construcción de edificios.
- 3/ DB-SE-F, acrónimo de Documento Básico de Seguridad Estructural en Fábricas de Ladrillos, perteneciente al CTE.
- 4/ En *Razón y ser de los tipos estructurales*, Madrid, 1960.
- 5/ Templo de culto cristiano ortodoxo ubicado en la calle Capella núm. 25 de Barcelona - [www.biserica-barcelona.es](http://www.biserica-barcelona.es)
- 6/ En rumano, parte central de la iglesia (bajo el cimborrio) habilitada para los fieles.
- 7/ Denominada así por no ser vaída, es decir, esférica.



15



16

- 8 / En catalán, denominación habitual que define este particular tipo de bóvedas. También denominada en catalán, bóveda de “punt de mocador”.
- 9 / Truñó Rusiñol, Àngel; *Construcción de bóvedas tabicadas*, 2004, pag.104
- 10 / En catalán, a la mezcla, en el sentido de mezclar rasillas entre si.
- 11 / Truñó Rusiñol, Àngel; *Construcción de bóvedas tabicadas*, 2004, pag.104
- 12 / Truñó Rusiñol, Àngel; *Construcción de bóvedas tabicadas*, 2004, pag.106
- 13 / Truñó Rusiñol, Àngel; *Construcción de bóvedas tabicadas*, 2004, pag.104
- 14 / Así denominado por la similitud geométrica a las partes en que se divide naturalmente una naranja o limón.

#### Referencias

- BASSEGODA I NONELL, Joan. *Aproximación a Gaudí*. Madrid: Doce Calles, 1992. ISBN 8487111246.
- LÓPEZ, David. Análisis estructural de bóvedas tabicadas. Barcelona: Departament d'Enginyeria de la Construcció - UPC, 2012. Recurso electrónico.
- MOYA BLANCO, Luis. *Bóvedas tabicadas*. Madrid: Dirección General de Arquitectura, 1947.
- OCHSENDORF, John Allen. *Guastavino vaulting: the art of structural tile*. New York: Princeton Architectural Press, 2010. ISBN 9781568987415.
- TRUÑO RUSIÑOL, Àngel. *Construcción de bóvedas tabicadas*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, ETSAM, 2004. ISBN 84-972-813-06.
- ZARAGOZA, Arturo; SOLER, Rafael; MARÍN, Rafael. *Construyendo bóvedas tabicadas: actas del Simposio Internacional sobre Bóvedas Tabicadas - Valencia, 2011*. Valencia: Universitat Politècnica de València, 2012. ISBN 9788483638729.



#### 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.

Parroquia Ortodoxa Rumana San Jorge de Barcelona, Aurel Bunda, Marin Olteanu, Sorin Deac y Salvador Gomis Aviño

13. Projections of the vault executed with the torus
14. Final differences between the two types of surfaces
15. Final differences between the two types of surfaces. Compare the position and size of the first rows. Authors' photograph
16. Vault executed as a toric surface

#### Notes

- 1 / Among other publications, it stands out the bibliography of this paper.
- 2 / Since 2007, the CTE (Technical Building Code) consists of the Spanish legislation that regulates the processes of design, calculation and construction of buildings.
- 3 / DB-SE-F, acronym for the Documento Básico de Seguridad Estructural en Fábricas de Ladrillos (Basic Document on Structural Safety in Brickwork), belonging to the CTE.
- 4 / In *Razón y ser de los tipos estructurales*, Madrid, 1960.
- 5 / Temple of Orthodox Christian worship on Calle Capella, 25 in Barcelona - www.bisericabarcelona.es
- 6 / In Romanian, the central part of the church (under the dome) prepared for worshippers.
- 7 / Named in this way as it is not vaulted but spherical.
- 8 / In Catalan, the usual description that defines this type of vault. Also called “punt de mocador” or handkerchief point vaults in Catalan.
- 9 / Truñó Rusiñol, Àngel; *Construcción de bóvedas tabicadas*, 2004, p. 104
- 10 / In Catalan, mixed, in the sense of mixing cladding tiles together.
- 11 / Truñó Rusiñol, Àngel; *Construcción de bóvedas tabicadas*, 2004, p. 104
- 12 / Truñó Rusiñol, Àngel; *Construcción de bóvedas tabicadas*, 2004, p. 106
- 13 / Truñó Rusiñol, Àngel; *Construcción de bóvedas tabicadas*, 2004, p. 104
- 14 / Named in this way due to the geometric similarity to the segments of an orange or lemon.

#### References

- BASSEGODA I NONELL, Joan. *Aproximación a Gaudí*. Madrid: Doce Calles, 1992. ISBN 8487111246.
- LÓPEZ, David. Análisis estructural de bóvedas tabicadas. Barcelona: Departament d'Enginyeria de la Construcció - UPC, 2012. Electronic source.
- MOYA BLANCO, Luis. *Bóvedas tabicadas*. Madrid: Dirección General de Arquitectura, 1947.
- OCHSENDORF, John Allen. *Guastavino vaulting: the art of structural tile*. New York: Princeton Architectural Press, 2010. ISBN 9781568987415.
- TRUÑO RUSIÑOL, Àngel. *Construcción de bóvedas tabicadas*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, ETSAM, 2004. ISBN 84-972-813-06.
- ZARAGOZA, Arturo; SOLER, Rafael; MARÍN, Rafael. *Construyendo bóvedas tabicadas: actas del Simposio Internacional sobre Bóvedas Tabicadas - Valencia, 2011*. Valencia: Universitat Politècnica de València, 2012. ISBN 9788483638729.

#### Acknowledgments:

Paper funded by the educational innovation project “EDU2012-37247/EDUC: E-learning 3.0 en la docencia de la Arquitectura. Casos de estudio de investigación educativa para un futuro inmediato” by the Government of Spain.

San Jorge Romanian Orthodox Parish in Barcelona, Aurel Bunda, Marin Olteanu, Sorin Deac and Salvador Gomis Aviño

## 5.3 Artículo 3

2017

Navarro, I., Fonseca, D. (2017). **Nuevas tecnologías de visualización para mejorar la Representación de Arquitectura en la Educación.** *ACE: architecture, city and environment* = arquitectura, ciudad y entorno.

### RESUMEN

El artículo presenta diversos estudios centrados en la representación del espacio tridimensional y los proyectos arquitectónicos desarrollados en el ámbito académico de los grados de Arquitectura y Arquitectura Técnica. El objetivo prioritario es el de analizar la mejora de la expresión gráfica y espacial de los estudiantes cuando en su formación son introducidos en el uso de nuevas tecnologías visuales como las de la Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Virtual (RV). El trabajo se ha realizado a través de casos de estudio llevados a cabo en los últimos cinco años con los estudiantes de las asignaturas de Sistemas de Representación I y II de los grados previamente comentados. Los proyectos resultantes se han estudiado desde el punto de vista de la facilidad de acceso con equipos y programas al uso (accesibilidad universal) y su capacidad de generar modelos tridimensionales. Las innovaciones tecnológicas propuestas han modificado sustancialmente los métodos de trabajo en el ámbito docente y han permitido observar la fácil adaptación de los estudiantes y su atracción por estas innovaciones, lo que finalmente ha conllevado una mejora curricular.

INDICE: Arts & Humanities Citation Index (Web of Science), Scopus (SJR-Q2)

### ALCANCE

El presente artículo es la muestra de tres experiencias docentes experimentales con aplicación de RA en los proyectos de estudiantes de arquitectura. Del mismo modo, se describe la metodología de validación de la implementación con resultados de los test realizados en las diferentes fases del proceso, así como las conclusiones extraídas.

Podríamos decir que este artículo es la mejor expresión de la metodología propuesta en la tesis. Sin embargo, estos procesos se deberán poner en práctica en ámbitos profesionales con proyectos reales. La integración de casos reales ha sido un factor

relevante en la motivación de los estudiantes.. La mayoría de experiencias tecnológicas para representar los proyectos de los estudiantes siempre se ha orientado hacia la adquisición de competencias, por lo que habrá que demostrar la eficacia de estos métodos en su labor profesional. Es necesaria una aproximación a los diversos procesos de la edificación para alcanzar otros niveles de aplicabilidad.

## NUEVAS TECNOLOGÍAS DE VISUALIZACIÓN PARA MEJORAR LA REPRESENTACIÓN DE ARQUITECTURA EN LA EDUCACIÓN

### NEW VISUALIZATION TECHNOLOGIES FOR ENHANCED ARCHITECTURE REPRESENTATION IN EDUCATION

NAVARRO DELGADO, Isidro<sup>1</sup>, FONSECA ESCUDERO, David<sup>2</sup>

Remisión artículo: 22-11-2015

Remisión definitiva: 28-07-2016

**Palabras Clave:** Realidad aumentada, Aprendizaje electrónico; Enseñanza geo-localizada; Planificación urbana; Investigación educativa.

**Key words:** *Augmented reality, E-Learning, Geo-Elearning, Urban Planning, Educational research*

#### Resumen.

El artículo presenta diversos estudios centrados en la representación del espacio tridimensional y los proyectos arquitectónicos desarrollados en el ámbito académico de los grados de Arquitectura y Arquitectura Técnica. El objetivo prioritario es el de analizar la mejora de la expresión gráfica y espacial de los estudiantes cuando en su formación son introducidos en el uso de nuevas tecnologías visuales como las de la Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Virtual (RV). El trabajo se ha realizado a través de casos de estudio llevados a cabo en los últimos cinco años con los estudiantes de las asignaturas de Sistemas de Representación I y II de los grados previamente comentados. Los proyectos resultantes se han estudiado desde el punto de vista de la facilidad de acceso con equipos y programas al uso (accesibilidad universal) y su capacidad de generar modelos tridimensionales. Las innovaciones tecnológicas propuestas han modificado sustancialmente los métodos de trabajo en el ámbito docente y han permitido observar la fácil adaptación de los estudiantes y su atracción por estas innovaciones, lo que finalmente ha conllevado una mejora curricular.

#### Abstract.

The article presents several studies focused on the representation of three-dimensional space and architectural projects developed in the academic degrees in architecture and technical architecture. The main objective is the analyze improvement of the graphical and spatial expression of students in their training are introduced in the use of new technologies Visual augmented reality (RA) and Virtual reality (VR). The work has been done through case studies carried out in the past five years with students in courses I and II of the previously mentioned degree representation systems. The resulting projects have been studied from the point of view of the ease of access with hardware and software to use (universal accessibility) and its ability to

generate three-dimensional models. The proposed technological innovations have substantially modified methods of work in the educational field and have allowed to observe the easy adaptation of the students and their attraction to these innovations, which has finally led to a improve curriculum.

## 1. Introducción

El presente estudio muestra nuevas estrategias docentes y las mejoras que aportan las nuevas tecnologías de la Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Virtual (RV) a la capacidad de representación del espacio en la formación de los futuros arquitectos y urbanistas. Steuer, Biocca & Levy (1995), definen la RV como un medio por y mediante el cual se conecta con una serie de tecnologías con el fin de mostrar una realidad diferente en la cual se sitúa el usuario. Milgram, Takemura, Utsumi & Kishino (1995), definen a su vez la RA como una modalidad de RV, pero donde no se pierde de vista la realidad donde se sitúa el usuario, sino que la información a visualizar se superpone. En resumen, mientras entendemos que RV nos muestra una realidad de forma inmersiva aislando en mayor o menor parte al usuario de su entorno, la RA solo superpone dicha información en un dispositivo que permite situarse en dicho entorno real del usuario. El avance tecnológico exponencial de los últimos años y la aparición de nuevos dispositivos ha permitido, gracias a la disminución de los costes, que sea fácil disponer de móviles y tabletas con capacidad de procesar información multimedia (fotografías, audio, video, modelos 3D, etc.), (Glennan & Melmed, 1996).

En paralelo, los sistemas educativos 3.0 (que podríamos definir como aquellos donde el estudiante no solo es un actor pasivo sino activo a la hora de generar y gestionar contenidos), han tendido a nuevas estrategias docentes para dar cabida a las nuevas tecnologías colaborativas (Campbell, Milbourne, Dugan & Wilcox, 2006) (Enache, 2012) (Rubens, Kaplan, & Okamoto, 2014) (Morris, 2011). En este nuevo escenario, la exploración de estrategias docentes basadas en la tecnología puede tener consecuencias especialmente positivas en las aulas de proyecto arquitectónico. Basadas en la interacción y la visualización, mediante software y hardware de última generación, estas nuevas tecnologías están haciendo posible la combinación de modelos tridimensionales en el espacio real y la visualización de entornos virtuales, ampliando la capacidad de representación del proyecto arquitectónico (Vicent, Villagrasa, Fonseca, Redondo, 2015).

Al facilitar la visión de un proyecto durante el proceso de su ideación (Milgram, & Kishino, 1994) (Sanzo, & Reus, 2015), (Fonseca, Valls, Redondo, & Villagrasa, 2015), tanto las técnicas digitales como los métodos propuestos facilitan el derecho universal de acceso a la cultura al permitir participar en el diseño a todo tipo de público no experto en arquitectura (Donnelly, 1984). Esta participación es básica, ya que va a permitir que la información pueda llegar a todos con la máxima riqueza de matices y de esta forma entender mejor la idea que el arquitecto, o estudiante de arquitectura, pretende transmitir (Hernández, Garcia, & Ayuga, 2004). Este tipo de procesos sucede ya que con independencia de los medios, los valores de interactividad y de accesibilidad universal a través de la representaciones claras de los objetos en el proceso de diseño, deberían ser parte importante de la formación de un estudiante de arquitectura (Stephanidis, & Savidis, 2001) (Fonseca, Redondo, Villagrasa, S., 2015). En definitiva, no podemos olvidar que la arquitectura, como parte del patrimonio cultural de la humanidad explica nuestra historia y esta

en la medida de lo posible, cuanto más cercana sea al usuario final, mejor será explicada y comprendida (Kersten, & Lindstaedt, 2012) (Hall, & Zeppel, 1990).

Las técnicas de representación de la arquitectura, los procesos constructivos o el urbanismo, han evolucionado con el paso del tiempo. Desde el dibujo, el gravado, el modelado o la pintura, hasta la fotografía, el video o la infografía, se puede observar una progresión en que las sucesivas nuevas tecnologías abren nuevas expectativas, como lo hacen los dispositivos móviles y las gafas inteligentes en auge actualmente (Menzel, Keller, & Eisenblätter, 2004) (Chi, Kang, & Wang, 2013) (Woodward, Hakkarainen, Korkalo, Kantonen, Aittala, Rainio, & Kähkönen, 2010). Pero, no podemos ni debemos olvidar que la arquitectura se percibe a través de los sentidos (especialmente, aunque no exclusivamente, el de la vista) y se representa a través de sistemas que ponen de relieve la forma con parámetros como, por ejemplo, sus medidas, las proporciones y la escala. En palabras de Rasmussen (1989): “la comprensión de la obra se obtiene a partir de la experimentación”, y es a partir de dicha afirmación donde podemos encontrar que las nuevas tecnologías nos pueden permitir complementar los sistemas tradicionales de representación. Es decir, nos van a facilitar la percepción del proyecto arquitectónico mediante otros sentidos como el tacto, e incluso el sonido, como se puede comprobar en nuestros ejercicios iniciales que se orientaron al público con discapacidades visuales (Navarro & Fonseca, 2010) (Navarro & Fonseca, 2011).

En conclusión, a lo largo de este artículo repasaremos una serie de casos de estudio docentes en los que se ha estudiado la representación arquitectónica mediante diversas tecnologías, y todo ello desde una perspectiva que pretende complementar la percepción espacial mediante otros sentidos complementarios, en concreto el tacto. Los métodos complementarios de representación van a permitir que los alumnos profundicen en las necesidades representativas de los objetos arquitectónicos con una combinación en tiempo real del trabajo con maquetas, hasta llegar a representaciones a tamaño real en espacios abiertos mediante RA. Este sistema permite el estudio, comprensión y acertada combinación de las múltiples escalas, de gran importancia en la visualización de modelos 3D de cualquier propuesta arquitectónica actual.

## 2. Marco de referencia.

Los ejemplos de aplicación de nuevas herramientas y tecnologías en la educación arquitectónica son todavía escasos, a pesar de que su generalización sea algo imparable (Redondo, Fonseca, Sánchez, Navarro, 2014), ya que los dispositivos mejoran sus prestaciones y los programas renuevan continuamente sus posibilidades cada vez con menores costes. Por ejemplo, dispositivos como las gafas inteligentes abren el abanico de opciones para la representación y percepción de contenidos multimedia y arquitectónicos específicamente. No obstante, mientras estos recursos estén disponibles en el mercado, es necesario explorar sus aplicaciones y establecer criterios en la formación de la representación arquitectónica (Succar, 2009).

Para los proyectos presentados en este artículo, se han utilizado programas de generación de modelos tridimensionales en diversos formatos. Para configurar los contenidos en RA, se han utilizado diversos sistemas en función de los requisitos de la propuesta, pero en la mayoría de casos han sido programas accesibles en Internet de forma gratuita o con licencias de bajo coste o “demo” para estudiantes. El bajo coste en recursos es una premisa de partida en el desarrollo

de las experiencias descritas, ya que los dispositivos pertenecían a los estudiantes, o puntualmente al centro como en el caso de los visores (gafas) inteligentes.

Si analizamos el entorno formativo, la Unión Europea ha establecido una serie de objetivos educativos básicos en el marco de la Estrategia Europa 2000 (ET-2020), con el objetivo de formar a los estudiantes en conocimientos que permitan una economía inteligente, inclusiva y sostenible. En dicha línea los gobiernos nacionales y regionales (como sucede en los artículos 58 y 59 de la LEC, Llei d'Educació de Catalunya, del 12/2009, 10 de julio), han establecido mecanismos que permitan ya a nivel de educación primaria como secundaria, la obligatoriedad de desarrollar a nivel adecuado las competencias necesarias para el uso de las nuevas tecnologías. Si bien estos mecanismos están establecidos, queda la duda en qué medida las competencias en tecnología y sistemas de comunicación que los alumnos pre-universitarios adquieren se adaptan a los estudios que posteriormente cursan. Como veremos en los casos de estudios que se presentan en este artículo, los autores creemos firmemente que las competencias genéricas que adquieren los alumnos pre-universitarios son pocas o demasiado superficiales (Marquès, Sarramona, 2013), y que se pueden derivar cursos y formaciones que actualmente están situados en los grados universitarios, incluso a nivel de máster, a una edad más temprana. Esta derivación puede permitir que los alumnos lleguen al entorno universitario, no solo con competencias más específicas ligadas a la visualización, sino con conocimientos que les motive a investigar sobre dichos métodos.

Lógicamente queda un largo trecho por recorrer, e incluso fuera interesante diversificar la oferta de esta formación pre-universitaria más especializada en función del ámbito objetivo de cada alumno, permitiendo una mejor preparación para los actuales estudios de grado. En estos, se ha constatado una necesidad recurrente de reducir la formación especializada para dotar a los alumnos de conocimientos básicos no suficientemente fijados en su educación anterior.

Durante la ejecución de los proyectos de estudio se analizó la eficacia de nuevas metodologías basadas en la tecnología, la facilidad en su utilización, la experiencia del usuario y otros factores como la obtención o no de resultados satisfactorios por parte de los estudiantes (Fonseca, Martí, Redondo, Navarro, Sánchez, 2014). Este tipo de evaluaciones se obtiene con encuestas de tipo test y en otros casos con cuestionarios como el BLA -Bipolar Laddering- (Pifarré, & Tomico, 2007), un tipo de estudio cualitativo que nos ha demostrado su fiabilidad, en especial para casos de trabajo con pocas muestras. Muchos factores pueden influir en estos resultados, desde el tipo de recursos (software y hardware) hasta la metodología (guías docentes, pautas temporales, pruebas de campo u otras). Generalmente, se realizaron proyectos de representación con modelos 3D de edificios o elementos arquitectónicos. El tipo de programas de modelado fueron diversos, desde sistemas más básicos como Google Sketchup, hasta otros más complejos como 3D MAX, Unity3D o Rhinoceros. Las herramientas fueron facilitadas por el centro con licencias educacionales gratuitas, o de acuerdo con los distribuidores de software. Los dispositivos de cada alumno fueron suficientes para poner en práctica los resultados, con la única condición de disponer de una conexión a Internet para consultar la base de datos a través de señal WIFI o 3G/4G, ya que algunos de estos proyectos se basaron en el posicionamiento o geo-localización del usuario y/o el modelo 3D (Sánchez, Redondo, Fonseca, 2015) (Redondo, Sánchez, Fonseca, Navarro, 2014) (Navarra, Van Der Molen, 2014).

Los casos presentados se llevaron a cabo en el contexto de diversas asignaturas de los grados de Arquitectura y Arquitectura Técnica de las escuelas Técnica Superior de Arquitectura La Salle (Universitat Ramon Llull) y de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya). Las asignaturas objeto del estudio estaban repartidas de segundo a tercer curso (Sistemas de Representación 1 y 2). Los casos se realizaron en diferentes fases que permitieron validar, no solo su continuidad y validez científica sino cada paso de la implementación.

Para la mejora de la experiencia de los alumnos y de la representación de sus proyectos, el objetivo que se planteó y se sigue planteando es la adecuación de los contenidos de cada una de las asignaturas de la carrera relacionadas con la materia de expresión gráfica arquitectónica para su utilización en nuevas propuestas docentes. En estas asignaturas los estudiantes han ido adquiriendo competencias básicas en el uso de instrumentos informáticos para su aplicación en el resto de asignaturas del programa del grado, principalmente proyectos y urbanismo, pero también otras específicas.

Para que las propuestas arquitectónicas o urbanísticas puedan ser visualizadas de una manera clara y comprensible por los usuarios finales, en estadios previos a la ejecución, es necesario ampliar con nuevas técnicas la oferta formativa de los futuros profesionales ya que las herramientas informáticas que tradicionalmente se han empleado, como los sistemas CAD, no tienen la capacidad para representar animaciones ni para interaccionar con el modelo 3D. Es necesario también integrar de forma eficiente sistemas como el BIM (Building Information Modelling) a los programas de grado referenciados, para dotar a los futuros arquitectos y urbanistas de una visión amplia de las posibilidades y estrategias de trabajo que ofrecen estas herramientas.

Cada uno de los casos de estudio que presentamos a continuación reflejan este aspecto y eso nos permitirá discutir finalmente en qué medida estos procesos son adaptables y mejoran las competencias de los estudiantes de arquitectura.

### 3. Casos de estudio

#### 3.1 *Caso de estudio –Diseño de exposiciones arquitectónicas para discapacitados visuales. Aplicación de tecnologías 3D y experiencia de usuario.*

#### HIPÓTESIS

Dado que el acceso a la cultura es primordial para el progreso de cualquier sociedad, la superación de las barreras arquitectónicas, así como las de acceso a la información en los espacios de exposición cultural, constituye un tema de estudio siempre actual para técnicos y científicos (Zissermann & Tumiel, 1989) (Anthopoulos & Fitsilis, 2010). El desarrollo e incorporación de la tecnología digital ha permitido incorporar grandes mejoras en la accesibilidad, tanto a la cultural como a la de los espacios físicos al permitir la eliminación de las barreras físicas en las exposiciones, como una visión más inmediata de los contenidos de los museos, ya sea a través de sus páginas web o de los sistemas multimedia incluidos en las instalaciones.

Nuestra primera hipótesis es que la tecnología digital también facilita la participación de los usuarios en el proceso de diseño al aproximar a la cultura a cualquier persona, independientemente de su edad o eventual disfunción física o psíquica. La segunda hipótesis consiste en que la participación del usuario en el proceso de diseño nos permite evaluar de forma empírica la usabilidad y accesibilidad del sistema técnico implementado y así comprobar si la transmisión de los conceptos se realiza de forma clara para cualquier tipo de visitante. Esta mejora en la participación de los usuarios en el proyecto es el factor diferencial que presentamos con este caso.

## METODOLOGÍA

El caso abordó el diseño de objetos y también el de los aspectos a implementar en una exposición final, es decir que incluyó tanto el diseño del espacio donde se produciría la información como el del material a exponer. La exposición requirió la adaptación de un espacio ya construido, para mostrar material relacionado con la arquitectura. Aparte de este doble objetivo que incluía el lugar y los contenidos, la especificidad del caso la da la condición de los participantes, ya que el grupo de usuarios fueron invidentes totales o con deficiencia visual.

La investigación del caso se enmarca en diferentes fases que a continuación se definen y que permitieron controlarlo en base a los diversos grados de intervención por parte de profesionales, desarrolladores de contenidos y usuarios finales tanto con discapacidades como sin ellas:

Fase 1, Definición de conceptos: Esta primera fase fue de aproximación a la realidad del nuestro grupo de usuarios objetivo: invidentes con ceguera total o parcial. Profesionales expertos en estas áreas, intervinieron para dotar de base científica a proyecto y se recogieron experiencias previas para analizar la adaptabilidad e interacción de los usuarios.

Fase 2, Desarrollo de contenidos: Generación de material de exposición con tecnología informática y de modelado tridimensional (tecnologías CAD). Como paso previo, se formó el equipo de creación de contenidos, en el que intervino personal docente y alumnos de la Facultad de Arquitectura de La Salle (Campus de Tarragona y Barcelona), de la Universidad Ramón Llull. Se estudiaron modelos de edificios existentes que se presentaron en paneles informativos de dimensiones y materiales adecuados para la correcta interpretación de los contenidos y material didáctico, por parte de los participantes.

Fase 3, Experiencia de usuario: Con los modelos generados se procedió a la visita por parte de los participantes (Figura 1). Posteriormente, mediante un test, se evaluaron los modelos y la propuesta por tres tipos de personas: unas con dificultades de visión, expertos en dicha temática, participantes sin intervención en la fase de diseño y los involucrados en las dos fases anteriores (Figura 2 y 3).

Fase 4, Análisis de resultados y propuesta metodológica: Se contrastaron los objetivos iniciales con el resultado final, por parte de los desarrolladores del proyecto y los profesionales en discapacidades. Los parámetros más importantes en la evaluación de la propuesta metodológica fueron los materiales de información y la experiencia de los participantes.

## IMÁGENES DEL CASO



**Figura 1: Experiencia de usuario con panel gráfico de la Sagrada Familia.**



**Figura 2: Evaluación de modelos geométricos por usuarios discapacitados.**



**Figura 3: Experiencia de usuario e implementación**

## CONCLUSIONES

- El proceso de generación de las geometrías con aplicaciones tecnológicas permite realizar modelos de gran complejidad formal.
- La evaluación de los prototipos por los que han participado en su diseño, ayuda a perfeccionar los modelos para la exposición.
- La geometría es interpretada con facilidad independientemente del nivel de conocimientos de la materia y la discapacidad de visión no es un factor decisivo en la comprensión de los modelos geométricos al ser substituida eficazmente por el tacto, aun

cuando, la obra arquitectónica escogida es de gran complejidad. Si bien la selección de elementos singulares facilita la comprensión del conjunto, la diferencia entre los elementos geométricos escogidos no es determinante para su interpretación por los participantes.

### 3.2 *Caso de estudio 2 –Aplicación de Realidad Aumentada para mejora de la comprensión de entornos tridimensionales.*

#### HIPÓTESIS

La hipótesis de trabajo es que las técnicas de Realidad Aumentada pueden ayudar en el proceso inicial de creación de proyectos y que, aplicadas durante el proceso de proyecto han de permitir una mejor percepción de la integración volumétrica de la propuesta arquitectónica en el contexto, facilitando así su comprensión. Las habilidades de control espacial que se derivan, pueden ser importantes en las decisiones formales y de implantación de las propuestas (Figura 4).

#### METODOLOGÍA

Se trató, de explorar las ventajas de la aplicación de estas nuevas técnicas avanzadas de representación volumétrica en los ejercicios de proyecto de los estudiantes de arquitectura, para facilitar las decisiones en el proceso de diseño arquitectónico. Para ello se planteó una aplicación docente con técnicas de realidad aumentada entre alumnos que, estando en un estadio intermedio de sus estudios universitarios, tienen una práctica aún incipiente en la definición de proyectos. Para facilitar una mejor comprensión de estas nuevas técnicas, los ejercicios se plantearon como si se tratara de un curso de proyectos de la carrera. Los casos se estudiaron en diferentes escalas y tamaño mediante dos ejercicios o casos de estudio a lo largo del curso. La duración aproximada fue de 6 horas para cada uno: la implantación volumétrica de un edificio en el espacio interior de la clase con modelos arquitectónicos a escala y el fotomontaje de un proyecto en un espacio exterior del campus de la universidad.

En el primer caso, la proximidad del emplazamiento a la universidad ha facilitado el establecer una relación con el lugar. El material de trabajo se ha compuesto por una maqueta de la plaza, el ordenador portátil que cada alumno y un proyector. Se han utilizado programas de modelado sencillo y una aplicación de evaluación de RA, suficiente para hacer el ejercicio. El reconocimiento de una marca con la cámara muestra la composición resultante en una imagen proyectada sobre una pantalla de gran dimensión y de este modo se comparte el resultado con el resto de estudiantes y se debate acerca de la conveniencia del resultado de cada ejercicio. En el segundo caso, el material utilizado ha sido un ordenador portátil HP Pavillion, una cámara web externa Logitech HD y el mismo software Buildar. El resultado capturado de la pantalla se ha mostrado posteriormente en la clase. El ejercicio consistió en situar un proyecto no construido de Mies v.d. Rohe en un espacio del campus universitario. El desnivel del lugar ha sido un requisito necesario, ya que se trata de un edificio proyectado para ser colocado en un terreno con pendiente. En ambos casos, la valoración se ha medido en función de la aproximación

precisa a los valores de escala de tamaño, orientación y posición de los proyectos, sin olvidar la habilidad mostrada en el proceso del mismo por los estudiantes.

El proceso de definición del proyecto es el objetivo último, por este motivo resultan interesantes metodologías como la que se aplicaron en este caso para encontrar nuevos sistemas de representación en arquitectura que pueden evitar que el resultado de la construcción de los proyectos tenga un impacto visual diferente al previsto.

#### IMÁGENES DEL CASO



**Figura 4: Desarrollo de proyectos con RA en escala de maqueta y en exterior**

#### CONCLUSIONES

El resultado de la experiencia de este caso confirma la hipótesis y abre nuevas posibilidades. Si bien, la precisión del resultado es variable por la posible falta de práctica en estas técnicas, no obstante, la rapidez con la que se obtiene el resultado final, hace aumentar el interés de los estudiantes en mejorar los errores.

Esto, tiene una posible relación con su hábito en el uso de sistemas multimedia como los videojuegos, en los que el resultado de cada acción tiene un efecto inmediato a la que el usuario debe responder, sugiriendo una posible línea de trabajo futura.

### **3.3 Caso de estudio 3 –Implementación de Realidad Aumentada en metodología de formación 3.0.**

Cómo hemos visto en el caso anterior, la aplicación de los conceptos de la educación 3.0 permite la representación de proyectos arquitectónicos utilizando realidad aumentada, aquí vamos a considerar ahora los recursos tecnológicos necesarios para la metodología propuesta. Este caso, se implementa una metodología de “aprendizaje 3.0”, definido como un sistema docente que incorpora el comportamiento y colaboración entre estudiantes, generando conocimiento a partir del constructivismo y nuevos entornos de trabajo, todo ello con formación localizada o informal y con acceso a los recursos de forma ubicua y en nuevos formatos de duración. Los contenidos que presentamos son el resultado de un taller de proyectos estudio específico y aspira a convertirse en una experiencia generalizada en la formación 3.0 en la escuela de referencia. Los estudiantes participantes se encuentran ahora en su tercer año de la Licenciatura de Arquitectura

y están desarrollando prácticas en el ámbito de la representación de los iconos de la arquitectura moderna.

## HIPÓTESIS

Si bien es ya incuestionable que las nuevas tecnologías permiten un mejor y mayor acercamiento al conocimiento y entendimiento del espacio ligado al proyecto arquitectónico, los programas CAD imponen resistencias a su uso universal, por la necesidad de instalación, complejidad de comandos y utilización, formatos de gran tamaño y necesidades técnicas elevadas. Por ello, se ven poco a poco sustituidas por interfaces más amigables que permiten de manera intuitiva y rápida la navegación e interacción con modelos 2D y 3D en todo tipo de tecnologías móviles, facilitando una mejor comprensión del espacio por parte del profesional al poder integrar mucho mejor “in situ” todos los conceptos. Mediante el uso de los dispositivos populares, el acceso al trabajo es más fácil, al ofrecer maneras diferentes de acceder a la información para lograr una mayor difusión.

Así mismo, las oportunidades de formación son hoy diversas. Todos los dispositivos, tienen aplicación en ella. Gracias a las intranets de que disponen la mayoría de escuelas, el enfoque puede ser on-line.

## METODOLOGÍA

Las principales fases del proyecto son la recopilación de archivos gráficos y documentos, creación de códigos bidimensionales, diseño de los paneles con la información y los códigos anteriormente descritos (Figura 5), presentación en la exposición pública (Figura 6), y finalmente el seguimiento de todo el proceso mediante un blog personal.

Inicialmente se han trabajado los contenidos relacionados con el proyecto a modelar y con las tecnologías a estudiar. Así mismo, los alumnos han tenido que ir documentando cada paso y material encontrado en su blog personal y en una zona común de trabajo en la Intranet de la escuela. Para el proceso de trabajo con la RA, se han generado los tutoriales adaptados a la plataforma escogida (en este caso Junaio), dado que para cada sistema habitualmente los procesos son muy diferentes.

Las siguientes fases son mucho más procedimentales: Se han generado todos los códigos bidimensionales que darán acceso rápido a los documentos realizados; se han integrado los contenidos y códigos en paneles para la composición de la figura cúbica definitiva (20cmx20cm cada cara); se han actualizado los blogs, y finalmente se ha procedido a la realización de la exposición permanente donde tanto alumnos como profesores y visitantes han podido interactuar con las propuestas presentadas.

Los paneles diseñados en forma de cubos, contienen la localización del proyecto en Google Maps, una presentación del arquitecto, el acceso a un video del proyecto, la documentación gráfica en formato CAD o BIM, una imagen estereoscópica del proyecto y un volumen en RA que se muestra con el reconocimiento de un código específico desde el propio panel.

El profesor y los estudiantes debían evaluar el caso de estudio para sacar conclusiones de las ventajas o desventajas de la aplicación de nuevas técnicas de imagen en sus prácticas.

### IMÁGENES DEL CASO



**Figura 5: Contenidos interactivos y Realidad Aumentada**



**Figura 6: Presentación de contenidos en exposición**

### CONCLUSIONES

Los aspectos evaluados del curso han sido: la habilidad con las herramientas de software, la capacidad de abstracción del volumen en RA, la precisión en tres dimensiones del resultado y de la huella en el proceso de definición del proyecto. Para este proceso, nos hemos basado en la hipótesis central de trabajo del grupo de investigación centrado en demostrar y cuantificar como el uso de las nuevas tecnologías por un lado incita la atención de los estudiantes en el proceso de aprendizaje de una manera muy práctica e intuitiva, al ser tecnologías que se utilizan a diario, y por otro lado parando especial atención en la capacidad de abstracción en 3D, ya que es una habilidad que se está formando, por lo que es necesario comprender cómo estas herramientas pueden ayudar a acelerar ese proceso.

Los resultados desiguales obtenidos (Fonseca, Martí, Redondo, Navarro, Sánchez, 2014), son debidos en parte a la posible falta de práctica en estas técnicas. Sin embargo, la velocidad con la que se obtienen los productos finales y su visualización han aumentado el interés de los alumnos en mejorar los errores cometidos. Estos resultados están posiblemente relacionados con el hábito de utilizar sistemas multimedia y de videojuegos, en el que el resultado de cada

acción tiene un efecto inmediato (una posible línea de trabajo) a los que el usuario debe responder. Dado que el proceso de definición del proyecto es el objetivo final ulterior a todos los objetivos unitarios, creemos que por este motivo las metodologías utilizadas son interesantes en su uso docente ya que permiten trabajar nuevos sistemas de representación en la arquitectura.

### 3.4 *Caso de estudio 4 – Evaluación Docente en el uso de la Realidad Aumentada en Arquitectura mediante enfoques de análisis mixtos. Propuesta Metodológica*

#### HIPÓTESIS

En el presente trabajo nos propusimos definir una metodología para evaluar el modelo de enseñanza colaborativa e interactiva propuesto y explicado en los casos anteriores. El fin era alejarnos de la “típica clase magistral” para aumentar el interés del alumno, mientras asegurábamos la adquisición de las competencias y objetivos de las asignaturas de la carrera. No solo se trataba de optimizar el grado de satisfacción del alumno, sino también el del profesor. Esto se consiguió proponiendo al alumno la utilización de tecnología móvil, aplicaciones colaborativas y una metodología específica. Para nuestros propósitos, implantamos el uso de la RA y la RV por parte del alumno, para la visualización de modelos arquitectónicos 3D. Al substituir parcialmente el uso de las maquetas, este instrumento nos permitió también la exposición virtual de los trabajos mediante el uso de las redes sociales y plataformas blog (<http://blogs.salleurl.edu/>), aumentando la difusión del experimento.

#### METODOLOGÍA

Los objetivos principales de nuestro experimento han sido principalmente dos:

- Definir una tipología de encuestas que se adapte a la implantación de todo tipo de tecnologías en el ámbito docente universitario, centrándonos de manera concreta en aquellas que permiten la interacción con modelos 2D y 3D, los cuales inciden especialmente en el ámbito arquitectónico. Todo ello desde un análisis estadístico de los resultados que se adapte a una muestra pequeña de usuarios, reduciendo los errores de sesgo típicos en investigaciones multidisciplinares que descuidan el universo de la muestra.
- Utilizar un enfoque misto de trabajo que incorpore valoraciones cualitativas de forma que el docente pueda identificar claramente las problemáticas para su solución futura.

Un aspecto fundamental en las investigaciones basadas en la opinión recabada al participante en la experimentación, radica en el correcto diseño y uso del llamado “test de usuario” o “encuesta de perfil” que es el que ha de permitir la extracción de los datos a estudiar. Un error habitual es la reducción del test a aspectos de “usabilidad” o facilidad de uso o interacción de un dispositivo físico o virtual con el usuario y según sus capacidades básicas. La dificultad de establecer formas correctamente y adaptadas al ámbito de estudio para probar, medir, evaluar y comparar resultados cuantificables sobre la experiencia del usuario, exige la definición de métodos, métricas, procesos y herramientas para la medición que se adapten a cada experimento.

La propuesta de estudio de usabilidad se llevó diseñando encuestas que tienen como objetivo recoger datos referentes a la eficacia, eficiencia y satisfacción para cada uno de los cursos y tecnologías utilizadas. La encuesta era un cuestionario que se facilitaba a los participantes en formato digital mediante la Intranet de la escuela. Las preguntas de eficacia y eficiencia se crearon utilizando una escala tipo Likert, según la cual, a la pregunta el encuestado le asignaba una valoración numérica. El valor asignado indica el grado de acuerdo o desacuerdo con respecto a la pregunta en una escala de 5 puntos, de forma que se responde el cuestionario valorando con precisión el grado de acuerdo sobre las afirmaciones.

Hemos diseñado dos pruebas: una primera centrada en la evaluación de la tecnología (TI) y el perfil motivacional de los estudiantes, y una segunda diseñada para evaluar la aplicación de la tecnología en la construcción de la educación en Ingeniería y Arquitectura. En el diseño de la encuesta, se pretende modelar la aplicación de nuevas tecnologías en los recursos docentes universitarios. En función del perfil del usuario, podremos centrarnos en la eficiencia y la eficacia del curso, y en el nivel de satisfacción y las preferencias de los estudiantes. Los parámetros más comunes que debemos tener en cuenta en la evaluación de un nuevo enfoque en la tecnología de la enseñanza son el grado de conocimiento de las nuevas tecnologías, el uso que se hace de las redes sociales, las aplicaciones y programas conocidos, y el conocimiento de los contenidos teóricos del curso en el marco del programa.

Con los mismos parámetros definidos en el pre-test, al finalizar el experimento se vuelve a realizar un test sobre la aplicación de nuevas tecnologías y el perfil motivacional, y una segunda diseñada para evaluar la tecnología y metodologías usadas en el experimento. Con el post-test de usabilidad podemos evaluar la evolución del usuario comparándolo desde el inicio del experimento y conocer de un modo cuantitativo la valoración en el uso de la tecnología y la “gamificación” en los diferentes experimentos realizados.

Los métodos cualitativos se utilizan comúnmente en los estudios de usabilidad, que inspiraron en la psicología experimental y en las muestras de uso de paradigma hipotético-deductivo, de los usuarios que son relativamente limitados. En nuestro caso utilizaremos BLA (Bipolar Laddering Assessment), un método de trabajo ampliamente utilizado por nuestro grupo de investigación y de probada eficacia. Con dicho método, evaluaremos la opinión de los estudiantes mediante entrevistas personales. El método funciona mediante la definición de dos polos: el positivo y el negativo para definir las fortalezas y debilidades del producto. El objetivo de una entrevista escalonado es descubrir cómo están conectados los valores personales, las consecuencias del uso y atributos del producto en la mente de una persona. El BLA consiste en realizar tres pasos: elicitación de elementos, valoración y búsqueda de soluciones.

Todo el método de análisis se integra dentro de como siempre un proyecto docente en el ámbito arquitectónico, centrado en desarrollar las habilidades necesarias para que los alumnos de arquitectura presenten sus proyectos con nuevas herramientas que aplican la tecnología de la RA. La formación se integra en el programa de una asignatura donde los alumnos han

experimentado previamente con técnicas tradicionales (edición de imagen digital, modelado 3D y maquetas). Teniendo en cuenta estos antecedentes, pueden ser capaces, al finalizar el proyecto, de realizar una comparación entre ambos métodos de representación. El grupo de trabajo estaba formado por 9 estudiantes de arquitectura y un profesor. La clase dispone de ordenadores de sobremesa, aunque los ejercicios del proyecto se realizan con los ordenadores portátiles de los propios alumnos y una cámara web de alta definición. El proyecto se realizó en dos sesiones de 5 horas. Estas sesiones están repartidas en dos ejercicios cada una, haciendo un total de cuatro prácticas. Éstas se componían de una explicación teórica de introducción al ejercicio y metodología. En cada práctica los alumnos debieron presentar los resultados al conjunto de la clase para su discusión.

IMÁGENES del CASO



Figura 6: Presentación de contenidos en Internet

	Sexe	(male 1, female 2)
Profile	Age	
	Do you repeat the subject?	(yes 1, no 0)
Pre-test Questions	Country	
	Evaluate your motivation degree using informatic tools	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Evaluate the methodology of the course	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Evaluate the practic content of the course	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Are you interested to know new methods of graphic architectural representation?	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Are you agree to use mobile devices in the educapional framework?	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Do you think that AR/VR can be useful for your studies in general?	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Do you think that AR/VR can be useful for viewing your projects in 2D-3D?	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Do you think that AR/VR are a difficult technologies?	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Using mobile devices and their apps, do you think they can motivate you to follow the subject?	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
General assessment	Do you think that using new technologies you can pass the subject more easy?	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	The time for exercises proposed is correct	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	It has been possible to solve the proposed exercises	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	The applications have been stable	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	The use of the programs has been easy	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Supporting documentation	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Utility level for architectural representation	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Utility general level of the subject for visual representation	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Perceived level of learning achieved	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	General motivat on using different visual technologies	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
Particular assessment - SALLE	Teachers support	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Final and global evaluation of the proposed methods	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	What do you think about the collaborative and virtual exposition?	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	What do you think about the immersive visualization. It is useful?	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Evaluate the utility of AutoCAD	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Evaluate the utility of REVIT	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Evaluate the utility of Photoshop	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Evaluate the utility of Illustrator	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Evaluate the utility of 3DSMax	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Evaluate the utility of A2 Panel	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
Particular assessment - SALLE	Evaluate the utility of the immersive exposition	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree
	Motivation using immersive techniques	1 None/Very Bad/Not agree, 2 Low/No, 3 Intermediate/Neutral, 4 Good/Agree, 5 High/Completely Agree

Figura 7: Ejemplo de Pre/Post Test cuantitativo

1. ELICITACIÓN DE ELEMENTOS  
2. Puntuación de 0 (mínimo nivel de satisfacción) a 10:

1. POSITIVOS (3) - en una palabra/frase		2. NEGATIVOS (3) - en una palabra/frase	
1. Tecnología muy interesante, útil y novedosa, además de divertida.	9	4. La rapidez y superficialidad de las clases presenciales.	4
2. Muy buena actitud del profesor, continuando incluso después de venir vía Google +	10	5. Mala organización de la difusión de la actividad a la hora de llevarla a la práctica.	3
3. Apoyo fantástico de LSU al facilitar incluso licencias de usuarios de pago.	10	6.	

1. Elemento a elemento, porqué es positivo/negativo y porqué esa puntuación. Concretar aspectos muy concretos... finalmente cómo mejorar la nota.

1. Podrían haberse visto muchísimos más cursos que de verdad hubieran sido muy útiles, pero lo visto ya fue de por sí muy interesante.
2. La verdad es que la obtención la considero inmejorable.
3. No pudieron ser más generosos.
4. Un poco más de tiempo hubiera sido ideal para perfeccionar lo técnico, resolver dudas y mejorar la coordinación.
5. Muy poca gente distributo de la tecnología del día de la presentación, hizo falta darle mucho más peso.

**Figura 8: Ejemplo de BLA cualitativo**

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo hemos revisado, ordenado y conceptualizado tres aspectos básicos en la investigación centrada en la docencia universitaria, a saber:

- El diseño de test para evaluar la implantación de nuevas tecnologías en la docencia universitaria, ámbito que pudiera ser extrapolable a cualquier otro ámbito docente.
- El modelo de selección de la muestra.
- El tipo de análisis a realizar en función de la misma.

El diseño adecuado de estos tres vértices de cualquier investigación, no solo debe ayudar a una más rápida, nítida y exacta extracción de datos y por consiguiente validación o no de hipótesis de trabajo, sino que además reducirá los clásicos errores de sesgos que en los trabajos con muestras de usuarios son típicamente observables en múltiples estudios científicos.

Es necesario recordar que estamos delante de un trabajo cuya principal pretensión no es la evaluación de las capacidades de un software determinado, sino de la capacidad de adaptación de los alumnos –de diversos perfiles y niveles- delante de una nueva metodología de formación. Para ello partimos de la hipótesis previa que los alumnos son usuarios habituales de tecnologías ligadas sobre todo a la comunicación. A pesar de lo cual, de forma general y sistemática, se parte de un nivel cero o muy básico en la implantación de las tecnologías a evaluar.

La propuesta la podemos analizar desde dos frentes: el docente y el del análisis de resultados. Desde el docente y comparando con cursos previos donde se utilizaron metodologías tradicionales, el rendimiento académico ha sido notablemente mayor, más si cabe teniendo en cuenta que el proyecto seleccionado se adecuó sin problemas a los objetivos definidos en la asignatura, cuando esto no es habitual y queda sobredimensionado generando un exceso de trabajo en los alumnos. El enfoque más lúdico ha permitido aumentar el interés y el seguimiento de las materias por parte del alumno, lo que directamente incide en que su progreso académico sea más rápido y satisfactorio.

Desde el punto de vista de los resultados, el enfoque mixto ha permitido observar que si bien los alumnos se quejan del tiempo, esta queja y gracias al BLA se puede ponderar como positiva, es decir, en contra de los sistemas tradicionales donde la falta de tiempo es un aspecto negativo ligado a un exceso de trabajo o un proyecto sobredimensionado, en nuestro caso, la falta de tiempo queda ligada a la motivación mostrada por el alumno. Cuando estamos delante de tecnologías que atraen la atención del alumno, este opta por invertir un tiempo mayor en las mismas lo cual conlleva que a la larga se observa la falta de más tiempo para dominar la tecnología de forma satisfactoria o llegar todavía más lejos de las propuestas solicitadas por los docentes.

#### **4. Discusión y conclusiones**

En la actualidad, los dispositivos móviles forman parte de la actividad cotidiana de los estudiantes y a la vez son recursos con un gran potencial tecnológico. Integrar en docencia la tendencia tecnológica crea opiniones a favor y en contra respecto a la aportación de mejoras en sistemas anclados en estructuras educativas consolidadas.

La aparición de nuevas tecnologías abre nuevas posibilidades frente a la representación tradicional en las escuelas de arquitectura, la manera de describir un proyecto con nuevos formatos digitales o incluso la metodología docente que hace posible adquirir estas competencias. Es preciso validar metodologías de formación para integrar estas herramientas en las aulas frente a los sistemas de formación tradicionales. La implementación de metodologías que incorporan nuevas tecnologías es constante en el ámbito académico de grados técnicos. La permanente actualización ha de responder a las necesidades del mercado profesional, por lo que es imperativo analizar los resultados de casos de estudio y verificar las hipótesis planteadas en la mejora del aprendizaje.

El resultado de los casos de estudio demuestran que la mejora en el aprendizaje es notable, pese a los datos que indican la dificultad de implementación por causa de los recursos necesarios o la valoración de la experiencia de usuario. Los estudiantes han demostrado una capacidad de

adaptación a las metodologías suficiente por afinidad con las tecnologías empleadas y el uso que dan en otros ámbitos fuera del ambiente académico.

La interpretación de resultados mejora también gracias a un buen diseño metodológico de la evaluación. Los procesos de aprendizaje deben ser analizados con encuestas, test o métodos verificados y contrastados constantemente. Es importante demostrar que se obtienen mejoras desde la capacidad de integración de recursos en función de los contenidos y no incluir tecnologías de forma no controlada. Las mejoras en la experiencia de usuario por parte del alumno han de quedar demostrada con los sistemas de validación adecuados. La representación de la arquitectura amplía sus posibilidades necesariamente en la medida que es posible la elaboración de nuevos formatos digitales fáciles de integrar. Los recursos están mostrando una capacidad de crear nuevos lenguajes de expresión visual inéditos.

El uso y aprendizaje de las posibilidades que ofrece la RA permite la deslocalización de la tradicional maqueta y no solo eso, sino una mayor interacción y posibilidad de cambios y modificaciones en el transcurso del proyecto. Tal y como se ha visto en los experimentos previos, queda manifiesto que el cambio educativo basado en el uso de tecnologías aporta un incremento motivacional que se vehicula como paradigma educativo en un entorno actual dominado por elevadas tasas de abandono debido a falta de interés. Lógicamente adecuar cada innovación al perfil o perfiles de los estudiantes es sin duda uno de los actuales retos, ya que cualquier innovación no es trasladable en muchos casos, ni de una clase a su contigua.

## 5. Bibliografía.

Anthopoulos, L., & Fitsilis, P. (2010). From digital to ubiquitous cities: Defining a common architecture for urban development. In *Intelligent Environments (IE)*, 2010 Sixth International Conference, pp. 301-306.

Campbell, P. H., Milbourne, S., Dugan, L. M., & Wilcox, M. J. (2006). A review of evidence on practices for teaching young children to use assistive technology devices. *Topics in Early Childhood Special Education*, 26(1), pp.3-13.

Chi, H. L., Kang, S. C., & Wang, X. (2013). Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction. *Automation in construction*, 33, pp.116-122.

Donnelly, J. (1984). Cultural relativism and universal human rights. *Human Rights Quarterly*, pp. 400-419.

Enache, M. C. (2012). Collaborative Technologies in Education. *Risk in Contemporary Economy*, pp. 173-176.

Fonseca, D., Martí, N., Redondo, E., Navarro, I., Sánchez, A. (2014), Relationship between student profile, tool use, participation, and academic performance with the use of Augmented Reality technology for visualized architecture models, *Computers in Human Behavior*, 31 (1), pp. 434-445.

Fonseca, D., Valls, F., Redondo, E., Villagrasa, S. (2015), Informal interactions in 3D education: Citizenship participation and assessment of virtual urban proposals, *Computers in Human Behavior*, Article in Press. DOI: 10.1016/j.chb.2015.05.032

Fonseca, D., Redondo, E., Villagrasa, S. (2015), Mixed-methods research: a new approach to evaluating the motivation and satisfaction of university students using advanced visual technologies. *Universal Access in the Information Society*, 14 (3), pp. 311-332.

Glennan, T. K., & Melmed, A. (1996). *Fostering the use of educational technology: Elements of a national strategy*. National Book Network, 4720 Boston Way, Lanham, MD 20706.

Hall, C. M., & Zeppel, H. (1990). History, architecture, environment: Cultural heritage and tourism. *Journal of Travel Research*, 29(2), pp. 54-55.

Hernández, J., Garcia, L., & Ayuga, F. (2004). Assessment of the visual impact made on the landscape by new buildings: a methodology for site selection. *Landscape and Urban Planning*, 68(1), pp. 15-28.

Kersten, T., & Lindstaedt, M. (2012). Potential of automatic 3D object reconstruction from multiple images for applications in architecture, cultural heritage and archaeology. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1(3), pp. 399-420.

Marquès, P. & Sarramona, J. (2013). *Competències bàsiques de l'àmbit digital, a favor de l'èxit escolar*. Generalitat de Catalunya, Departament d'Ensenyament.

Menzel, K., Keller, M., & Eisenblätter, K. (2004). Context sensitive mobile devices in architecture, engineering and construction.

Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), pp. 1321-1329.

Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995, December). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In *Photonics for Industrial Applications* (pp. 282-292). International Society for Optics and Photonics.

Morris, R. D. (2011). Web 3.0: Implications for online learning. *TechTrends*, 55(1), pp. 42-46.

Navarra, D., & van der Molen, P. (2014). Una perspectiva global sobre catastros y Geo-TIC para la gobernabilidad urbana sostenible en vista del cambio climático. *Arquitectura, Ciudad y Entorno*, 8(24).

Navarro I., & Fonseca, D. (2010), Design of architectonic exhibits for the visually impaired. Application of 3D technologies and user experience, CИСCI 2010 - Novena Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernetica e Informatica, 7to Simposium Iberoamericano en Educacion, Cibernetica e Informatica, Memorias, 3, pp. 281-285.

Navarro I., & Fonseca, D. (2011). Implementation of methodological processes of users experience with 3d technology and augmented reality. Case study with students of architecture and users with disabilities, IMSCI 2011 - 5th International Multi-Conference on Society, Cybernetics and Informatics, Proceedings, 2, pp. 237-241.

Pifarré, M., & Tomico, O. (2007, November). Bipolar laddering (BLA): a participatory subjective exploration method on user experience. In Proceedings of the 2007 conference on Designing for User eXperiences (p. 2). ACM.

Rasmussen, S. E. (1989). *Experiencing architecture*/by Steen Eiler Rasmussen.

Redondo E., Sánchez, A., Fonseca, D., Navarro, I. (2014). Geo-elearning for urban projects. New educational strategies using mobile devices. A case study of educational research. *Architecture, City and Environment*, (24), pp. 11-32.

Redondo, E., Fonseca, D., Sánchez, A., Navarro, I. (2014). Mobile learning in the field of architecture and building construction. A case study analysis. *RUSC Universities and Knowledge Society Journal*, 11 (1), pp. 152-174.

Redondo, E., Fonseca, D., Giménez, L., Santana, G., Navarro, I. (2012). Digital literacy for the teaching of architecture. A case study, *Arquiteturarevista*, 8 (1), pp. 76-87.

Rubens, N., Kaplan, D., & Okamoto, T. (2014). E-Learning 3.0: anyone, anywhere, anytime, and AI. In *New Horizons in Web Based Learning*, pp. 171-180. Springer Berlin Heidelberg.

Sánchez Riera, A., Redondo, E., Fonseca, D. (2015). Geo-located teaching using handheld augmented reality: good practices to improve the motivation and qualifications of architecture students. *Universal Access in the Information Society*, 14 (3), pp. 363-374.

Sanso, J. B., & Reus, P. (2015). Pioneros de la participación colectiva en los procesos de planificación urbana. Legado Halprin. *ACE: architecture, city and environment*, (28), pp. 57-76.

Stephanidis, C., & Savidis, A. (2001). Universal access in the information society: methods, tools, and interaction technologies. *Universal access in the information society*, 1(1), pp. 40-55.

Steuer, J., Biocca, F., & Levy, M. R. (1995). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Communication in the age of virtual reality*, 33-56.

Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in construction*, 18(3), pp. 357-375.

Vicent, L., Villagrasa, S., Fonseca, D., Redondo, E. (2015). Virtual learning scenarios for qualitative assessment in higher education 3D arts. *Journal of Universal Computer Science*, 21 (8), pp. 1086-1105.

Woodward, C., Hakkarainen, M., Korkalo, O., Kantonen, T., Aittala, M., Rainio, K., & Kähkönen, K. (2010). Mixed reality for mobile construction site visualization and communication. In Proc. 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR2010), pp. 4-5.

Zissermann, L., & Tumiel, J. (1989). The architectural accessibility of urban facilities to the disabled: a summary of descriptive survey results. *Paraplegia*, 27(5), 370-371.



## 6 Conclusiones

Las conclusiones de la presente Tesis han resultado de las reflexiones derivadas de la implementación reiterada de experiencias docentes. Dichas experiencias se han centrado en la búsqueda de mejoras metodológicas docentes, usando nuevas tecnologías de visualización, como son la RA y la RV aplicadas a la representación de arquitectura en el ámbito educativo. De esta forma podemos concluir como estas tecnologías favorecen la motivación y adquisición de competencias de los estudiantes.

Los objetivos iniciales se han cumplido de manera progresiva, desde la exploración previa de la tecnología, hasta su implementación en la búsqueda de la mejora en el rendimiento del alumnado. El uso de métodos mixtos de análisis y medición ha puesto de manifiesto que el uso de nuevas tecnologías contribuye a la mejora de las competencias y aumenta el grado de motivación de los estudiantes.

El uso de diversas tecnologías de visualización en la representación del proyecto se ha probado en todas sus fases y empleado como herramienta de análisis espacial. Este tipo de implementación ha sido clave en el modo cómo los estudiantes explicaron sus propios diseños al resto de compañeros y en los proyectos orientados a personas con discapacidades.

El uso de la tecnología móvil (M-Learning) ha sido un factor importante en la implementación de metodologías interactivas con recursos de uso frecuente propios de los estudiantes. Se ha demostrado que la visualización de los resultados en sus propios dispositivos favorece la motivación por resultar un medio cotidiano de comunicación.

El uso de nuevas tecnologías de visualización (RA/RV) ha sido relevante por su importancia en el proceso de innovación docente y el auge que socialmente están teniendo en este último periodo de la investigación. Algunas implicaciones importantes son:

- Planificación de materias orientadas a la adopción de nuevos formatos de representación digital basados en nuevas tecnologías y que aportan metodologías

de formación complementarias a los sistemas tradicionales de representación gráfica.

- La incorporación de medios de visualización al proceso de aprendizaje para la validación de las competencias por parte de los estudiantes genera una mayor motivación en este tipo de materias.
- La percepción del espacio con estas herramientas digitales mejora la capacidad de reflexión de los proyectos por los propios estudiantes y les permite analizar sus logros de forma objetiva desde una experiencia visual.
- El uso de tecnologías móviles favorece al proceso de formación debido al aprovechamiento que resulta de las competencias que los estudiantes adquieren en su manejo en contextos sociales, de ocio y familiares.
- Generalmente, se realizan proyectos de representación con modelos 3D de edificios o elementos arquitectónicos de geometrías complejas que incrementan la dificultad del aprendizaje. No obstante, se ha demostrado que es un factor de motivación, al tratarse de ejemplos singulares, principalmente obras del patrimonio arquitectónico.

Otros aspectos que resultan de las valoraciones obtenidas en los proyectos ponen de manifiesto la dificultad de implementar estos sistemas. Algunas consideraciones técnicas a tener en cuenta son:

- La eficiencia de los dispositivos empleados no siempre cumple las expectativas de los estudiantes como resultado de la necesidad de emplear recursos de última generación, que no siempre están al alcance en el ámbito universitario.
- El acceso a los recursos on-line a menudo requieren de conexiones de alta velocidad para no repercutir en una experiencia negativa por los usuarios.
- Los estudios de usabilidad de los usuarios finales influye en la satisfacción de los resultados que, por lo general y tratándose de sistemas tan innovadores, siguen siendo un aspecto a mejorar.

- La tecnología móvil necesaria para los proyectos debe tener unas especificaciones que estén al alcance de la mayoría de los profesionales a los que se plantea mostrar estos desarrollos. En la última década se percibe un auge de estas tecnologías y este es uno de los motivos que impulsaron esta investigación.

Respecto a la implicación que estas metodologías pueden tener en futuro profesional de los estudiantes, se pueden destacar otro tipo de consideraciones más relacionadas con el uso de nuevas tecnologías de visualización:

- La aplicación directa de los conceptos aprendidos en proyectos con carácter social ha generado una motivación añadida en los casos de estudio con personas con discapacidad.
- El trabajo colaborativo con los usuarios finales en las etapas de diseño de los proyectos mejora la usabilidad y la experiencia del usuario final.
- La implicación de entidades públicas y privadas en los proyectos ha motivado a los estudiantes a tener una percepción profesional del trabajo desarrollado desde el ámbito académico.
- La percepción de estar participando en un proceso de innovación a través de proyectos inéditos en las materias de representación arquitectónica.
- El acercamiento al patrimonio arquitectónico desde la representación y la tecnología de forma simultánea también fue un motivo de interés y motivación.

Finalmente, la experimentación de estas tecnologías en el último periodo ha permitido integrarlas en fases de ejecución de proyectos reales con la intención de comenzar nuevas líneas de trabajo futuras en casos de edificación real con estudiantes.



## 7 Líneas futuras de investigación

Las líneas futuras de investigación se centrarán en los planteamientos principales de los trabajos presentados en la presente tesis: metodologías docentes, tecnologías de visualización y mejora del rendimiento académico. Estos aspectos más relacionados con el ámbito docente se complementarán con otros más orientados a la aplicabilidad de los conocimientos y competencias adquiridas, como son: estudios de usabilidad, experiencia con usuarios y la convergencia con el ámbito profesional.

Para estos objetivos, la evolución de los medios tecnológicos de visualización y la adopción sistemática de los futuros sistemas informáticos más eficientes, serán los medios de trabajo a emplear. Los proyectos planteados para los próximos cursos académicos tienen como principal objetivo la accesibilidad a los contenidos de arquitectura y patrimonio desde la visualización en sistemas inmersivos. Se ha podido demostrar que el análisis de la obra arquitectónica desde la visualización avanzada (RA/RV) permite una mejor comprensión de los monumentos y proyectos que serán desarrollados posteriormente. La obtención de los datos se realizará con técnicas avanzadas de escaneo y reconstrucción digital (fotogrametría y sistemas de nubes de puntos). La edición digital profundizará aún más en los sistemas de modelado 3D empleado en contextos más cercanos a creativos digitales y diseñadores de videojuegos. Todos estos recursos y planteamientos se implementarán en proyectos reales de la mano de entidades gestoras del patrimonio arquitectónico.

Las líneas de investigación se describen a continuación:

- Mejora continuada de métodos docentes que incluyen nuevas tecnologías de visualización aplicadas a la representación arquitectónica. El análisis de las competencias básicas y específicas, así como la adquisición de habilidades de representación y de generación de contenidos serán objeto de estudio como objetivos desde un enfoque tecnológico.

- Exploración permanente de la innovación tecnológica en RA y RV como herramientas para proyectar, analizar e interpretar el espacio arquitectónico desde la visualización avanzada combinando sistemas de interacción con los contenidos.
- Constatación de la aplicabilidad de proyectos desde el ámbito académico al profesional trabajando con usuarios en las fases de desarrollo, a partir de la integración de estudios de usabilidad y experiencia de usuarios.
- Integrar en el proceso de formación-aprendizaje espacios de trabajo basados en nuevas tecnologías de visualización donde explorar nuevos lenguajes de representación arquitectónica. La inmersión en espacios de trabajo digitales para el desarrollo de proyectos colaborativamente o generación de la forma desde la interacción visual con sistemas virtuales o mixtos (RA).
- Está previsto participar en los próximos proyectos internacionales de investigación desde el grupo GRETEL en el Campus La Salle Barcelona miembro fundador de la Universidad Ramón Llull.

La visualización avanzada entendida como la interacción del hombre con la computadora (HCI – Human Computer Interaction) puede ser el germen del término ‘Visualización Hombre-Computadora’ (HCV – Human Computer Visualization). Este término puede entenderse como el modo en que los sistemas informáticos adaptan el sentido de la visión a la percepción de contenidos. La inmersión del observador es medible y parametrizable desde el análisis de la experiencia de usuario en el espacio real combinado con contenidos digitales (RA) o los espacios digitales virtuales (RV).

# Bibliografía

- Adell, J. (1997).** “Tendencias en educación en la sociedad de las tecnologías de la información”. EDUTECH. Revista Electrónica de Tecnología Educativa, 7. <http://www.uib.es/depart/gte/revelec7.html>
- Alexander, C. (1964).** A much asked question about computers and design. Speech at ‘Architecture’.
- Alfaro Rocher, I. A. (2006).** Metodologías de enseñanza y aprendizaje para el desarrollo de competencias: orientaciones para el profesorado universitario ante el Espacio Europeo de Educación Superior. Spain/Madrid: Alianza editorial.
- Álvarez Cuervo, R., Rocés, J., & Alonso, J. (2006).** Sistema tutorado interactivo para el dibujo de vistas SDV®. XVIII Congreso Internacional Ingeniería Gráfica. Sitges, Barcelona.
- Álvarez Peñín, P., Del Canto, A., Charro, M., Rubio, R., García, R., & Suárez, J. 2001.** Propuesta de un sistema multimedia para minimizar el efecto de la reducción de docencia tradicional en Expresión Gráfica. XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Badajoz.
- Álvarez Peñín, P., Pando, P., García, R., & Pérez, M. (2006).** Entorno multimedia para uso docente en materias de Expresión Gráfica. XVIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Sitges, Barcelona.
- Anderson, T. (2008).** Towards a theory of online learning. Theory and practice of online learning.
- Ausubel, D. (1981).** Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo. In D. Ausubel. México: Editorial Trillas.
- Bates, A. W. (1997).** Restructuring the University for Technological Change. The Carnegie Foundation for the Advancement of Teaching.
- Bednar, A.K.; Cunnigham, D.; Duffy, T. M. y Perry, J.D. (1991).** ”Theory into practice: How do we link”? G. Anglin (Ed.).Instructional Technology: Past, present, and future. Libraries Unlimited. Denver.
- Blanco, M. et al, (2006).** Blanco, M., Martín, A., Prádanos, R., Rodríguez, Q., Sanz, J., Parra, E., y otros. (2006). Estudio del sistema diédrico mediante un tutorial multimedia. XVIII Congreso Internacional Ingeniería Gráfica. Sitges, Barcelona.
- Bloom, B. (1979).** Taxonomía de los objetivos de la educación. Marfil.
- Bower, G. y Hilgard, E. (1981).** Theories of learning. Prentice-Hall Ed.

- Cabero-Almenara, J. R.-G. (2004).** Las herramientas de comunicación en el aprendizaje mezclado. *Pixel-Bit: Revista de medios y educación*, P (23), 27---41.
- Gagnon, D. (1985).** Videogames and spatial skills: An exploratory study. *ECTJ*, 33(4), 263-275.
- Camacho, M. (2011).** Mobile Learning: aproximación conceptual y prácticas colaborativas emergentes UT. *Revista de Ciències de l'Educació.* , p.43---50.
- Campanario, J. M. (2005).** ¿Cómo influye la motivación en el aprendizaje de las ciencias? From <http://www2.uah.es/imc/webens/127.html>
- Campbell, P. H., Milbourne, S., Dugan, L. M., & Wilcox, M. J. (2006).** A review of evidence on practices for teaching young children to use assistive technology devices. *Topics in Early Childhood Special Education*, 26(1), 3-13.
- Castañeda, L. y. (2013).** Entornos personales de aprendizaje: claves para el ecosistema educativo en red. Alcoy: Marfil.
- Caudell, T. P., .David W. Mizell. (1992).** "Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. "System Sciences, 1992. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on. Vol. 2. IEEE, 1992.
- Clark, D. (2013).** MOOCs: taxonomy of 8 types of MOOC. From <http://donaldclarkplanb.blogspot.com.es/2013/04/moocs-taxonomy-of-8-types-of-mooc.html>
- Coll, C. M. (2008).** La utilización de las tecnologías de la información y la comunicación en la educación: Del diseño tecno---pedagógico a las prácticas de uso. *Psicología de la educación virtual*, 74---103.
- Coll, C. M. (2008).** Los entornos virtuales de aprendizaje basados en el análisis de casos y la solución de problemas. (Morata, Ed.) *Psicología de la educación virtual*, (pp. 213-233).
- Czapka, J., Moeinzadeh, M., & Leake, J. (2002).** Application of Rapid Prototyping Technology to Improve Spatial Visualization. Proceedings of the 2002 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition. Montreal, Quebec.
- Deci, E. L. (1991).** Motivation and education: The self---determination perspective. *Educational psychologist*. 26(3-4), 325-346.
- Deci, E. L. (2001).** Extrinsic rewards and intrinsic motivation in education: Reconsidered once again. *Review of Educational Research*, 71(1), 1-27.
- Dejong, P. (1977).** Improving Visualization: Fact or Fiction? *Engineering Design Graphics Journal*, 41 (1), 47-53.
- Donnelly, J. (1984).** Cultural relativism and universal human rights. *Human Rights Quarterly*, 6(4), 400-419.

- Dziorny, M. (2007).** Digital Game-based Learning and dyslexia in higher education. In R. C. al. (Ed.), *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference*, (pp. (pp. 1189---1197)). Chesapeake.
- Egenfeldt-Nielsen, S. L. (2009).** Los videojuegos como herramientas de aprendizaje. *Aprovecha el tiempo y juega. Algunas claves para entender los videojuegos.*
- Fernández, A., Reina, R., Mateo, F., & Sánchez, J. (1998).** Docencia de dibujo técnico a través de herramientas de animación asistida por ordenador. X Congreso Internacional Ingeniería Gráfica. Málaga
- Fidalgo, Á. S.-E. (2013).** MOOC cooperativo. Una integración entre cMOOC y xMOOC. In M. L.-E. Á. Fidalgo Blanco (Ed.), *En las Actas del II Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad, CINAIC* (pp. 481-486). Madrid: Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid.
- Flórez, Rodríguez, & Álvarez, (2001).** Sistema de apoyo al desarrollo de la Percepción Espacial basado en VRML. XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Badajoz.
- Fonseca, D., Redondo, E., & Villagrasa, S. (2015).** Mixed-methods research: a new approach to evaluating the motivation and satisfaction of university students using advanced visual technologies. *Universal Access in the Information Society*, 14(3), 311-332.
- Fonseca, D., Valls, F., Redondo, E., & Villagrasa, S. (2016).** Informal interactions in 3D education: Citizenship participation and assessment of virtual urban proposals. *Computers in Human Behavior*, 55, 504-518.
- Font, J. (2007).** Impacto tecnológico del CAD en la docencia de la Expresión Gráfica en la Ingeniería. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, España.
- García Aretio, L. (2014).** Bases, mediaciones y futuro de la educación a distancia en la sociedad digital. Madrid: Síntesis.
- Garmendia et al, (2001).** Garmendia, M., Albisua, J., & Galarraga, R. (2001). Influencia de la integración de un sistema multimedia en la mejora de la docencia en expresión gráfica. XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Badajoz.
- García-Peñalvo, F. J. (2015).** Una revisión actualizada del concepto de eLearning. *Décimo Aniversario. Education in the Knowledge Society (EKS)*, 16(1), 119-144.
- García, M., Martín, G., Suárez, J., Pérez, J., & Suárez, F. (2002).** S.A.D. (Sistema de apoyo al dibujo): Una herramienta integrada en la enseñanza de la expresión gráfica. *XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*. Santander.
- Gardner, H. (2000).** Aproximaciones múltiples a la comprensión.
- Garmendia, M., Gisasola, J., & Gorozika, J. (2004).** Enseñanza de la visualización de piezas como resolución de problemas. XVI. - Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Zaragoza-Huesca.

- Garrison, D. R. (2004).** Blended learning: Uncovering its transformative potential in higher education. *The internet and higher education*, 7(2), 95-105.
- Garrison, D. R. (2005).** El e-learning en el siglo XXI: Investigación y práctica.
- Geddes, B. J. (2004).** Mobile learning en el siglo 21: beneficio para los alumnos. *Árbol de conocimientos e-journal*, 6.
- Glennan, T. K., & Melmed, A. (1996).** Fostering the use of educational technology: Elements of a national strategy. National Book Network, 4720 Boston Way, Lanham, MD 20706.
- Grané, M. C. (2013).** Cambios en el uso y la concepción de las TIC, implementando el M-learning. *RED, Revista de Educación a Distancia*, Año XII. Número 37.
- Hall, M., & Zeppel, H. (1990).** Cultural and heritage tourism: The new grand tour. *Historic Environment*, 7(3/4), 86.
- Hartman, N., Connolly, P., Gilger, J., Bertoline, G., & Heisler, J. (2006).** Virtual Reality-Based Spatial Skills Assessment and its Role in Computer Graphics Education. International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques ACM SIGGRAPH 2006 Educators program. Boston, Massachusetts.
- Haskell, C. (2013).** Understanding Quest-Based Learning. White paper. Boise State University.
- Hernández, J., Garcia, L., & Ayuga, F. (2004).** Assessment of the visual impact made on the landscape by new buildings: a methodology for site selection. *Landscape and Urban Planning*, 68(1), 15-28.
- Holland, J. L. (1966-1997).** Holland, J. L. Making vocational choices: A theory of vocational personalities and work environments. Psychological Assessment Resources.
- James, K., Humphrey, G., & Vilis, T. (2002).** "Active" and "Passive" Learning of Three-Dimensional Object Structure Within an Immersive Virtual Reality Environment. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 34 (3), 383-390.
- Jonassen, D.H. ETR&D (1991)** Objectivism versus constructivism: Do we need a new philosophical paradigm? 39: 5. doi:10.1007/BF02296434
- Joint Quality Initiative, (2004).** Shared 'Dublin' descriptors for the Bachelor's, Master's and Doctoral awards.  
<http://www.jointquality.nl/content/descriptors/CompletesetDublinDescriptors.doc>
- Karlin, M. V. (2001).** Project-based learning. In Medford, OR: Jackson Education Service District
- Kaufmann, H., Steinbügl, K., Dünser, A., & Glück, J. (2003).** Improving Spatial Abilities by Geometry Education in Augmented Reality - Application and

Evaluation Design. Proceeding of the 2005 VRIC Laval Virtual, (págs. 25-34). France.

**Kersten, T. P., & Lindstaedt, M. (2012).** Image-based low-cost systems for automatic 3D recording and modelling of archaeological finds and objects. In Euro-Mediterranean Conference (pp. 1-10). Springer Berlin Heidelberg.

**Koehler, M. J., & Mishra, P. (2008).** Introducing tpck. Handbook of technological pedagogical content knowledge (TPCK) for educators, 3-29.

**Kolb, D. F. (1975).** Ciclo de Aprendizaje.

**Liyanagunawardena, T. R. (2013).** MOOCs: A systematic study of the published literature 2008-2012. The International Review of Research in Open and Distance Learning, 14 (3), 202-227.

**Luis A. Branda, A. F. (2009).** L'aprenentatge basat en problemes. (S. d. Universitat Autònoma de Barcelona, Producer)  
[http://www.uab.es/iDocument/185/237/eines\\_6.pdf](http://www.uab.es/iDocument/185/237/eines_6.pdf)

**Lundvall, B. Ä. (1994).** The learning economy. Journal of industry studies.

**Madrazo, L. (1992).** From Sketches to Computer Images: A Strategy for the Application of Computers in Architectural Design. The New Teaching of an Architect? CAAD Conference Proceedings. Barcelona (Spain) 12-14 November 1992, pp. 331-350.

**Martín, O. (2009).** "Educación 2.0. Horizontes de la innovación en la Escuela". TELOS. Cuadernos de Comunicación e Innovación, 78.  
<http://www.campusred.net/telos/articulocuaderno.asp?idArticulo=1> (Consulta: 02/2009)

**Martín-Dorta, Saorín, & Contero, (2008a).** Development of a Fast Remedial Course to Improve the Spatial Abilities of Engineering Students. Journal of Engineering Education, 97 (4), 505-513.

**Martin-Gutierrez, Martin-Dorta, Saorin, Contero, & Navarro (2008).** Martin-Gutiérrez, J., Martin-Dorta, N., Saorín, J., Contero, M., & Navarro, R. (2008). Aplicaciones Web para el desarrollo de las habilidades espaciales. Actas XX Congreso internacional de Ingeniería Gráfica. Valencia, España.

**Martín-Gutiérrez, Jorge, et al. (2010)** "AR\_DeHaes: an educational toolkit based on augmented reality technology for learning engineering graphics." 2010 10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies. IEEE, 2010.

**Maslow, A. H. (1943).** A theory of human motivation. . Psychological review , 50(4), 370.

**Mataix, León, Reinoso, (2015).** Métodos de entrenamiento de las habilidades espaciales de los estudiantes de titulaciones técnicas. EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica; Núm. 26 (2015)

**MEC (2006).** <https://www.boe.es/buscar/pdf/2006/BOE-A-2006-7899-consolidado.pdf>

- Melgosa, Ramos, Baños, & García (2009).** Herramientas web para el desarrollo de la visión espacial y el seguimiento del aprendizaje. Actas XXI Congreso internacional Ingeniería Gráfica. Lugo, España.
- Menzel, K., Keller, M., & Eisenblätter, K. (2004).** Context sensitive mobile devices in architecture, engineering and construction.
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994).** A taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, 77(12), 1321-1329.
- Miller, C. (1992).** Enhancing Visual Literacy of Engineering Students Through the Use of Real and Computer Generated Models. Engineering Design Graphics Journal, 56 (1), 27-38.
- Mills Jr Edward, K. (1941).** U.S. Patent No. 2,243,973. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Ministros Europeos de Educación Superior, (1998).** Declaración conjunta para la armonización del diseño del sistema de Educación Superior Europeo. París.
- Montero, M. (2008).** El Proceso de Bolonia y las nuevas competencias. Tejuelo. Didáctica de la Lengua y la Literatura. Educación. ISSN-e 1988-8430, N°. 9, 2010, págs. 19-37.
- Mora, Palomo, García, & Marín. (2001).** Módulo de AutoCAD orientado a la enseñanza de piezas. XIII Congreso Internacional de Expresión Gráfica en la Ingeniería. Badajoz
- Navarro Delgado, I., & Fonseca, D. (2010).** Diseño de exposiciones arquitectónicas para discapacitados visuales. Aplicación de tecnologías 3d y experiencia de usuario. In Novena Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática: CISCI 2010 (pp. 281-285). International Institute on Informatics and Systemics IIIS.
- Navarro, I., & Fonseca, D. (2012).** Architecture Degree Project: Use of 3D Technology, Models and Augmented Reality Experience with Visually Impaired Users. Systemics, Cybernetics and Informatics, 10(2).
- Negroponte, N. (1995).** El mundo digital. Barcelona: B, S.A
- Onrubia, J. C. (2008).** Los entornos virtuales de aprendizaje basados en el trabajo en grupo y el aprendizaje colaborativo. Psicología de la educación virtual, 233-252.
- Ortiz, J. A. (2003).** Aprendizaje basado en problemas: una alternativa al método tradicional. Revista de Docencia Universitaria, 3(2).
- Paikeday, T. M., & Chomsky, N. (1985).** The native speaker is dead! An informal discussion of a linguistic myth with Noam Chomsky and other linguists, philosophers, psychologists, and lexicographers.

- Peggy A. Ertmer y Timothy J. Newby (1993).** Conductismo, cognitvismo y constructivismo: una comparación de los aspectos críticos desde la perspectiva del diseño de instrucción. *Performance Improvement Quarterly*, 1993, 6(4), 50-72
- Penzo, W. F. (2010).** Guia per a l'elaboració d'activitats d'aprenentatge. (a. O.I. Barcelona., Editor, I. d. Barcelona, Producer, & Octaedro) From Guia per a l'elaboració d'activitats d'aprenentatge: <http://hdl.handle.net/2445/12072>
- Quinn, C. I. (2013).** Handbook of mobile learning: A future for M--Learning. New York, NY: Routledge. : erge & L. Y. Muilenburg (Eds.)
- Ramos, García, Baños, & Melgosa, (2003).** Aprendizaje innovador en la visualización de piezas y dispositivos, en la formación de dibujo técnico mediante aplicación hipertexto. XV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Nápoles, Italia.
- Ramos, García, Baños, Melgosa, García, & Sainz, (2001-02).** Recurso web. Taller de mejora de la visión espacial. <http://www2.ubu.es/expgraf/expgrain/visualizacion3d/index2.shtml>.
- Rasmussen, S. E. (1959).** Experiencing Architecture. The MIT Press
- Redondo, E., Fonseca, D., Giménez, L., Santana, G., & Navarro, I. (2012).** Alfabetización digital para la enseñanza de la arquitectura. Un estudio de caso. *Arquiteturarevista*, 8(1), 76-87.
- Resta, P. &. (2007).** Technology in support of collaborative learning. *Educational Psychology Review*, 19 (1), 65---83.
- Rubens, N., Kaplan, D., & Okamoto, T. (2012).** E-Learning 3.0: anyone, anywhere, anytime, and AI. In *International Conference on Web-Based Learning* (pp. 171-180). Springer Berlin Heidelberg.
- Ryan, R., & Deci, E. (2000).** Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary educational psychology*, 25(1), 54-67.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000).** Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary educational psychology*, 25(1), 54-67.
- Sainz, J., Valderrama, F. (1992).** Infografía y arquitectura. Dibujo asistido por ordenador, Ed. Nerea.
- Salinas, J. (2004).** Cambios metodológicos con las TIC. Estrategias didácticas y entornos virtuales de enseñanza-aprendizaje. Bordón.
- Schunk, D. H. (2012).** Motivation in education: Theory, research, and applications. Pearson Higher Ed.
- Schunk, D. H. (1991).** Self-efficacy and academic motivation. *Educational Psychologist*, 26, 207-231.

- Shen, C. X. (2013).** Why are children attracted to the Internet? The role of need satisfaction perceived online and perceived in daily real life. *Computers in Human Behavior*, 29, 185–192
- Siemens, G. (2004).** Conectivismo: Una teoría de aprendizaje para la era digital
- Skinner, B. F. (1976).** About behaviorism.
- Sorby, S. (1999a).** Developing 3-D Spatial Visualization Skills. *Engineering Design Graphics Journal*, 63 (2), 21–32.
- Stahl, G. K. (2006).** Computer-supported collaborative learning: An historical perspective. (C. h. sciences, Ed.)
- Stephanidis, C., & Savidis, A. (2001).** Universal access in the information society: methods, tools, and interaction technologies. *Universal access in the information society*, 1(1), 40-55.
- Stipek, D. J. (1993).** Motivation to learn: From theory to practice.
- Suarez, Rubio, Gallego, & Martin, (2004).** Desarrollo de un entrenador para la percepción espacial basado en realidad virtual mediante tecnologías de dominio público. Libro de actas del XII Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Barcelona, España.
- Torner Ribé, (2009).** Desarrollo de habilidades espaciales en la docencia de Ingeniería Gráfica. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- Uceda, J. y Barro, S. (2008).** Las TIC en el Sistema Universitario Español: UNIVERSITIC 2008.> Madrid: Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas, CRUE.
- UNESCO (1998).** Declaración mundial sobre la Educación Superior en el siglo XXI: visión y acción. [www.unesco.org/education/educprog/wche/declaration\\_spa.htm](http://www.unesco.org/education/educprog/wche/declaration_spa.htm)
- Vicent, L., Villagrasa, S., Fonseca, D., & Redondo, E. (2015).** Virtual learning scenarios for qualitative assessment in higher education 3D arts. *Journal of Universal Computer Science*, 21(8), 1086-1105.
- Villagrasa, S. (2016).** Technologies enhanced learning and gamification for teaching & learning innovation. Tesis doctoral. URL. 2016
- Woodward, C., Hakkarainen, M., Korkalo, O., Kantonen, T., Aittala, M., Rainio, K., & Kähkönen, K. (2010).** Mixed reality for mobile construction site visualization and communication. In Proc. 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR2010) (pp. 4-5).
- Yuan, L. &. (2013).** MOOCs and open education: implications for higher education. U.K.: Cetus.

## 8 Publicaciones relacionadas

Los resultados de la labor de investigación se han publicado en los artículos, revistas y libros, así como ponencias en congresos nacionales e internacionales de ámbito científico. El siguiente apartado es una muestra de los artículos recogidos por periodos cronológicos (mencionados en el apartado 2.2) que aportan sentido al desarrollo de la investigación iniciada en el contexto de la educación universitaria de Arquitectura.

La lectura de los diferentes artículos muestra la secuencia natural en la orientación de los trabajos y la evolución hacia propuestas que se adaptan a la aparición de nuevos medios de representación. La tecnología contribuirá en estos proyectos a definir nuevas estrategias metodológicas para la mejora del rendimiento académico de los estudiantes.

En el periodo inicial se experimentan los primeros proyectos incorporando nuevas tecnologías en materias de sistemas de representación. La accesibilidad de los contenidos generados es una motivación de comienzo que coge protagonismo en los trabajos, evolucionando desde el análisis de las propias herramientas a los proyectos de espacios naturales, y culminando en la singularidad de la obra de Gaudí. La colaboración con entidades como la ONCE fue clave en estos primeros pasos de la investigación, así como la aportación de pedagogos y voluntarios de la Basílica de la Sagrada Familia.

El segundo periodo profundiza más en la definición de la metodología, y algunos de los trabajos realizados por los estudiantes alcanzan resultados esperanzadores en el análisis de la muestra. Otros artículos de este periodo definen la metodología más detalladamente que se aplica en todos los proyectos.

En el periodo actual, los proyectos tienen aplicación en casos de diseño complejo, integrando disciplinas como la ingeniería y la arquitectura en aplicaciones de accesibilidad. Este tipo de desarrollos enlazan con el origen de la investigación.

A continuación se detallan los artículos más destacados y la relación directa con la trayectoria de la investigación de forma cronológica:

## 8.1 Periodo Inicial (2008-2011)

03-C-CISCI **“Naturaleza para todos. Tecnología para una señalización adaptada”.**

**El espacio público y el diseño de la accesibilidad.**

El artículo resume el proceso de elaboración, por parte de los alumnos de arquitectura, de recursos didácticos para la interpretación de entornos naturales por personas con discapacidades. La investigación se orientó en la reflexión de los contenidos a interpretar en un parque y cómo debían representarse en un modelo táctil a escala para personas ciegas o con discapacidades físicas

05-C-CISTI **“Optimización de la accesibilidad web a partir de la experiencia de uso con usuarios discapacitados”.** El espacio digital y la representación

El artículo y publicación es el estudio de experiencia de usuarios con discapacidades visuales. Este proyecto recibió el 1er premio de la Fundación Mutua por la contribución a la mejora de los entornos digitales a sectores de la sociedad con necesidades especiales.

08-C-CISCI **“Diseño de exposiciones arquitectónicas para discapacitados visuales: aplicación de tecnologías 3D y experiencias de usuario”.** El espacio arquitectónico singular representado desde el análisis geométrico para una representación

El artículo describe la implementación de los conocimientos adquiridos por los estudiantes de arquitectura en relación a la geometría de la arquitectura de Gaudí en la Sagrada Familia mediante el uso de metodologías con nuevas tecnologías, la generación de modelos para su interpretación por ciegos afiliados de la ONCE y el proceso de validación de la experiencia de usuario y de mejora en el rendimiento académico.

11-C-IMSCI **“Implementation of methodological processes of users experience with 3D technology and augmented reality. Case study with students of architecture and users with disabilities”**

En este artículo se realiza una implementación mejorada de los métodos académicos en la representación y en los recursos generados. Se consolida una metodología de trabajo que considera la representación arquitectónica con nuevas tecnologías. Como continuación del proyecto anterior, se incorpora la RA en fase experimental.

## 8.2 Segundo Periodo (2011-2014)

### **18-Co-CISTI “Teaching evaluation using augmented reality in architecture. Methodological proposal”**

La segunda fase de investigación se fundamenta en la definición de la metodología y la incorporación de tecnologías más avanzadas como la RA. El artículo define el método de validación y tipologías de encuestas para la obtención de resultados de los estudiantes, su grado de conocimiento y la evolución del proyecto en la adquisición de competencias.

### **19-Co-SIIE “Uso de la Realidad Aumentada como plataforma educativa en la visualización arquitectónica. Evaluación del grado de satisfacción y usabilidad por parte del alumnado”**

El artículo presenta la implementación de recursos didácticos con RA y la metodología de validación docente iniciada en trabajos previos. Los resultados se exponen en gráficas y se presenta un avance en el uso del método.

### **22-R-AR “Alfabetización digital para la enseñanza de la arquitectura. Un estudio de caso”**

El presente artículo explora las capacidades de mejora de comprensión espacial y de representación por parte de los alumnos que acceden a los estudios universitarios de arquitectura. En esta fase, tienen pocas nociones de sistemas informáticos aplicados a la geometría y el dibujo técnico, por lo que será una base de estudio previo para la aproximación a los perfiles de usuario que se tratarán en otras fases del proceso de investigación. Aunque se ha seguido desarrollando en diferentes ediciones académicas, corresponde a la etapa inicial de los proyectos presentados en esta tesis.

### **27-R-VARE “New strategies using handheld augmented reality and mobile learning-teaching methodologies in architecture and building engineering degrees”**

El artículo es una recopilación de diversas implementaciones con profesores de las escuelas de Arquitectura de la ETSAB-UPC, ETSALS- URL, en asignaturas de Grado de Arquitectura con el uso de RA aplicada a la adquisición de competencias y validando procesos docentes con la metodología expuesta.

### **31-Co-VARM “Real-Time Dynamic Lighting Control of an AR Model Based on a Data-Glove with accelerometers and NI-DAQ”**

El artículo es un ejemplo de aplicación directa en un proyecto con el objetivo de emplear la RA como herramienta de análisis en el proceso proyectual, concretamente en el estudio del asoleamiento de edificio desde la visualización dinámica de las sombras en RA. Esta implementación será un avance en posibilidades de uso a nivel profesional que se describen en fases posteriores de la investigación.

### **32-Co-TEEM “Augmented reality uses in educational research projects: the Falcones Project, a case study applying technology in the Humanities framework at high school level.”**

El proyecto que describe el artículo es una implementación compleja de nuevas tecnologías en un entorno educativo preuniversitario con grupos de diferentes ámbitos de conocimiento de bachillerato (humanidades y tecnológico). En una segunda etapa, las habilidades tecnológicas se prueban con realización de proyectos reales según el modelo PBL. En esta etapa, centrada en la representación arquitectónica, sigue habiendo proyectos como el presente, que a partir de casos de aplicación real, los análisis del uso de tecnologías permite obtener resultados que servirán de experiencia para establecer metodologías de integración de RA en asignaturas más iniciales del Grado de Arquitectura.

### **37-R-CHB “Relationship between student profile, tool use, participation, and academic performance with the use of Augmented Reality technology for visualized architecture models”**

El presente artículo desarrolla en profundidad la metodología de análisis y validación del uso de las nuevas tecnologías en procesos de formación en representación de proyectos de los estudiantes de Grado de Arquitectura. Este documento representa un alto grado de madurez de los métodos empleados en el estudio de la mejora en establecer una metodología eficaz para definir las líneas de trabajo en siguientes fases.

A partir de este momento, la investigación se orienta hacia el estudio de implementación de tecnologías avanzadas en RA y RV, así como en la incorporación de nuevas herramientas tecnológicas como son las gafas de RA y RV. Estos dispositivos van a

contribuir a nuevos proyectos colaborativos con otras áreas del conocimiento de la universidad, como por ejemplo la Ingeniería Multimedia. Este cambio de orientación se debe a la incursión acelerada que se produce actualmente por parte de las nuevas tecnologías en los sectores profesionales de la Arquitectura y la Ingeniería de Edificación.

### **38-C-CISCI “Experiencia de uso de las TIC en el desarrollo de un proyecto arquitectónico singular: la Iglesia Ortodoxo Rumana de Barcelona”**

El artículo expone un caso de aplicación en el proceso de edificación de un edificio religioso. La intención es evaluar la aportación de la tecnología de RA en casos reales de actividad profesional. Este caso culminará con otro artículo en una fase posterior.

## **8.3 Periodo Actual (2015-Act)**

### **43-R-Com&Ped “Realidad Virtual y localización interior de contenidos para gafas inteligentes. Casos de estudio en el patrimonio de la UNESCO”**

Publicación de un compendio de proyectos realizados en casos reales de aplicación de tecnologías avanzadas de RA en edificios singulares con estudiantes de ingeniería y arquitectura. La incorporación de áreas transversales puede ser una línea de futuro a desarrollar para fomentar procesos de aprendizaje transdisciplinares.

### **49-R-IJTHI “Virtual reality using smart-devices in educational frameworks. Case Study: Museum Casa Batlló”**

El artículo profundiza en el estudio de la usabilidad de un proyecto aplicado a la video-guía de la Casa Batlló con RA y RV y la validación de diversas variaciones de la aplicación original por parte de varios grupos de estudiantes. (Aceptado bajo publicación).



# NATURALEZA PARA TODOS. TECNOLOGÍA PARA UNA SEÑALIZACIÓN ADAPTADA.

Isidro NAVARRO

Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica – Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona,  
Universidad Politécnica de Cataluña.  
Barcelona, 08028, España

## Resumen

El proyecto del primer itinerario en un entorno natural para personas con discapacidad física y/o psíquica en España denominado "Naturaleza para todos", ha sido posible con la colaboración de La Escuela de Arquitectura de La Salle Tarragona (Universidad Ramon Llull), el grupo GEPEC-EdC ('Grup d'Estudi i Protecció dels Ecosistemes del Camp – Ecologistas de Catalunya'), el Ayuntamiento de Cambrils, la Obra Social La Caixa y el 'Departament de Medi Ambient i Habitatge' de la Generalitat de Catalunya.

La principal característica del itinerario es que se trata de un trayecto de dificultad mínima para visitantes incluyendo la mayor parte de aquellos que tienen disfunciones sensoriales, físicas o psíquicas, pero sobretodo visuales. El parque cuenta con un plano en relieve en la entrada y permite destacar algunos elementos del recorrido mediante los cinco sentidos. Este es el primero de los itinerarios del proyecto coordinado por el GEPEC-EdC.

La ejecución del proyecto tiene como punto de partida unas premisas de seguridad, interpretación y mantenimiento que han de condicionar el diseño del proyecto.

## Palabras clave

Itinerario adaptado, lenguaje Braille, diseño universal y cadena de accesibilidad.

## 1. OBJETIVO

El objetivo del proyecto es la aplicación de nuevas tecnologías para la elaboración del panel descriptivo de un itinerario adaptado a personas con discapacidad física y/o psíquica.

## 2. REFERENCIAS

Hasta hace poco tiempo, los equipamientos de educación ambiental y los espacios verdes, especialmente aquellos con cierto grado de protección, presentaban importantes barreras físicas y de la comunicación.

En los últimos años, se han llevado a cabo algunas actuaciones concretas encaminadas a la mejora de la accesibilidad en estos espacios. En la mayor parte de los casos estas propuestas no están fundamentadas en el criterio básico de Diseño Universal (-aquel que integra las características y necesidades de un amplio espectro de la población, dando como resultado productos y entornos aptos para el uso del mayor número de personas sin necesidad de adaptaciones ni de un diseño especializado-), sino que se trata de actuaciones encaminadas a la eliminación de barreras aisladas (sin tener en cuenta la cadena de accesibilidad -físicas, de la

comunicación y psicológicas-) y para un tipo concreto de discapacidad (personas usuarias de silla de ruedas, ciegos, etc.)

En algunos equipamientos de educación ambiental vinculados a espacios protegidos las barreras físicas tienden a desaparecer, especialmente en los de nueva construcción. Pero en la mayoría de las infraestructuras no se tuvieron en cuenta criterios de accesibilidad desde la fase de diseño, por lo que se realizaron actuaciones a posteriori, que resultan más costosas y menos efectivas, y que incluso en algunos casos no garantizan la autonomía ni la dignidad de las personas con discapacidad.

Sin embargo, todavía siguen existiendo muchas barreras de la comunicación, tanto por la falta de formación de los equipos educativos como por la ausencia de adaptaciones en los diseños de exposiciones, materiales, audiovisuales, etc.

Algunas de las actuaciones materializadas hasta el momento son las siguientes: accesos y aseos adaptados, itinerarios accesibles, construcción de pasarelas, senderos autoguiados, textos en Braille, maquetas y elementos táctiles, formación específica de guías, servicios personalizados de atención, utilización del lenguaje de signos en audiovisuales, etc.

Ejemplos de estas intervenciones los podemos encontrar en España en Parques Nacionales y algunos espacios con El Monasterio de Piedra, Delta del Ebro, etc. En el extranjero encontramos buenos ejemplos en Parques Naturales de Canadá, Estados Unidos y Australia y en algunos lugares de Europa. En este sentido, destacamos las actuaciones llevadas a cabo en el Parque de Iguazú en su lado argentino.

## 3. INTRODUCCION

Los primeros prototipos se generan a partir de estos parámetros con programas informáticos de dibujo. Se visualizan en formato digital para definir con exactitud que cumplen todos los requisitos de diseño. A continuación será necesario ejecutar modelos físicos para las comprobaciones de seguridad y ergonomía.

Han sido meses de pruebas y experimentación de materiales para definir la maqueta. La coloración, formas y texturas se han comprobado para personas con diversas discapacidades.

El barranco "Verge del Camí" de Cambrils es el primer proyecto con un itinerario adaptado para personas con algún tipo de discapacidad, pero pensados sobre todo para gente con diferentes grados de visión. El recorrido, situado en el tramo final del barranco, se ha adecuado elevando los márgenes del camino y la instalación de ocho plafones informativos y una maqueta en lenguaje braille con figuras i símbolos en relieve.

Esta señalización es una experiencia única en España en lo que se refiere a señalización coloreada con las dificultades técnicas que comporta. La maqueta que permite la identificación del recorrido se ha confeccionado en la Escuela de Arquitectura La Salle Tarragona de la Universidad Ramon Llull con la participación de dos profesores y un grupo de alumnos de tercer curso de arquitectura. Los plafones cerámicos que se encuentran en los puntos singulares los ha realizado el Taller La Moixera de Reus. El Instituto Joan Amades ha participado en el asesoramiento del proyecto.

El recorrido del itinerario por el barranco “Verge del Camí” de Cambrils tiene 760 metros, a lo largo del cual se han situado los ocho plafones cerámicos con información de los elementos destacados de la fauna y la flora de la zona, y un plano en relieve en la entrada.

Las personas con discapacidades tienen difícil el acceso a la naturaleza, y a menudo desconocen conceptos muy básicos como la forma de las hojas o cómo son los árboles, problema que se pretende solucionar con estos itinerarios adaptados. El primer proyecto en la zona del barranco “Verge del Camí” se ha escogido por su fácil acceso.

La coordinación del proyecto tiene como objetivo recoger las opiniones y críticas de las personas con algún tipo de discapacidad que visiten el itinerario. De esta manera, se podrán efectuar mejoras en los sistemas utilizados que se podrán aplicar en futuros itinerarios de similares características.

#### 4. PARTICIPANTES

Los participantes implicados en el proyecto son diversos y de variadas disciplinas (una organización ecologista, la administración local, la universidad de arquitectura y organismos para discapacitados). Aunque nos centraremos en la fase de elaboración del panel, debemos considerar que todos tienen protagonismo en el resultado.

En el proceso de elaboración de la maqueta intervienen de forma decisiva los programas de diseño asistido por ordenador para poder modelar y visualizar el resultado antes de su elaboración con los materiales definitivos.

En esta fase de ejecución participaron un grupo de doce alumnos de tercer curso de Arquitectura coordinados por dos profesores durante un taller de prácticas en la Escuela de Arquitectura de Tarragona de la Universidad Ramón Llull.

#### 5. FASES DEL PROYECTO

El proyecto del panel comprende varias fases:

- Conocimiento del entorno físico e intervención: fase previa de recopilación de información, determinación del nivel de accesibilidad, definición de las actividades relacionadas con el uso público, itinerario y rotulación.
- Concepción del proyecto y ejecución: consideraciones del entorno, mecanismos, dimensiones, material complementario, características táctiles, físicas, información a incluir y ejecución final del panel.

- Colocación y comprobación del resultado mediante la experimentación con grupos de personas con diversas discapacidades (Figura 1).



Figura 1.- Grupo de discapacitados manipulando el panel descriptivo del itinerario adaptado.

#### 5.1. CONOCIMIENTO DEL CONTEXTO FÍSICO E INTERVENCIÓN.

##### Definición del proyecto

Se establece como objetivo la intervención en un camino del barranco “Verge del Camí” de Cambrils próximo al centro del municipio.

##### Análisis del entorno

Se procede al estudio del medio en el que se va a desarrollar la intervención. Analizaremos si los equipamientos existían con anterioridad o no y qué elementos forman parte de la cadena de accesibilidad. En caso de tratarse de un espacio protegido, debemos procurar que los elementos en los que vamos a mejorar la accesibilidad permitan a todos los visitantes (con o sin discapacidad) acceder y conocer los valores naturales y culturales que se haya considerado en los Planes de Uso Público que deben conocer todos los visitantes del Parque.

El lugar no dispone de actuaciones previas de accesibilidad. Tan sólo un recinto vallado nos limita el acceso a un yacimiento de ruinas antiguas que permanecen a la vista.

En este sentido, el barranco no tiene desniveles considerables, haciendo del recorrido un paseo suave y cómodo.

La proximidad al paseo marítimo hace del lugar un perfecto destino de los transeúntes que se acercan al parque.

##### Determinación del nivel de accesibilidad

Se estudia el nivel de accesibilidad de los distintos equipamientos utilizando los siguientes criterios:

- Nivel accesible o adaptado: un espacio, instalación, edificación o servicio se considerará accesible cuando cumpla los requisitos funcionales y dimensionales que garanticen su utilización autónoma y cómoda por las personas con discapacidad.

- Nivel practicable: un espacio, instalación, edificación o servicio, se considerará practicable cuando sin llegar a cumplir todos los requerimientos para ser adaptado y en condiciones no idóneas en cuanto a la comodidad, permite su utilización de forma autónoma por parte de las personas con discapacidad.
- Nivel convertible: cuando un espacio, mediante modificaciones de escasa entidad y bajo coste que no afecten a la estructura, pueda transformarse en accesible o al menos en practicable.

A partir del estudio se establecen las actuaciones que afectan al entorno físico del camino como por ejemplo: aumentar la altura del borde del camino a recorrer para poder ser detectado por los invidentes.

### Actividades relacionadas con el uso público y ubicación de las instalaciones

Determinación de las actividades relacionadas con el uso público y ubicación de las mismas teniendo en cuenta criterios de accesibilidad y conservación del entorno, intentando compatibilizar la puesta en valor de los valores naturales, históricos y culturales del espacio y su preservación.

### Itinerarios y rotulación

Diseño de los accesos para vehículos y peatones y de los itinerarios. Es importante tener en cuenta en la señalización y rotulación de estos accesos e itinerarios que la información sea perceptible y fácil de interpretar.

El panel principal permitirá acercar el entorno natural a las personas discapacitadas a través de los sentidos. Esto significa que al recorrer el itinerario, es posible utilizar el tacto, olfato, vista, oído y el gusto para interpretar los elementos naturales del entorno.

Se determinan aquellos lugares de interés que quedarán reflejados en el panel y que quedarán marcados también en el recorrido con otros plafones de menor tamaño.

Estos lugares deberán ser de fácil acceso y estar próximos al recorrido principal.

## 5.2. CONCEPCIÓN DEL PROYECTO Y EJECUCIÓN.

### El entorno

Se analiza el entorno y los espacios construidos con el fin de reflejar de forma sintética una volumetría y desniveles del terreno apropiados al tamaño y escala del panel. Debe estudiarse si es necesario incluir el entorno dentro de la maqueta; en general es desaconsejable incluir elementos del paisaje o del mobiliario urbano.

### Mecanismos

Están contraindicados los mecanismos complejos que imponen la intervención de una segunda persona para la manipulación de la maqueta y generan problemas adicionales de seguridad y conservación, (y confunden al usuario, especialmente al ciego, por muy espectaculares que puedan resultar).

### Dimensiones

Largo: las dimensiones óptimas no debe sobrepasar los 1,50 m. de amplitud, para permitir que exista siempre una relación de

referencia constante entre las dos manos, pues formas más grandes harían la exploración demasiado lenta.

Ancho: según las normas de accesibilidad europeas, la profundidad ideal de una superficie sobre la que se colocarán objetos para ser manipulados debe ser de 60 cms, que es la de un brazo medio extendido; por lo tanto, no son recomendables anchos que superen los 120 cms., y esto siempre que la maqueta, por sus contenidos y características, tenga prevista su colocación en un lugar que permita un espacio de circulación lo suficientemente amplio como para permitir la accesibilidad de los contenidos.

Altura: hablando estrictamente, la altura ideal para operar y acceder a cualquier cosa es específica de cada persona; pero cuando debemos tener en cuenta un uso general (altos, bajos, niños, sillas de ruedas) ha de conseguirse un margen de altura máxima apropiada. Las normas europeas de accesibilidad señalan en los 135 -140 cms. este margen ideal.

El proyecto tendrá definitivamente unas dimensiones de 80x80 cms (Figura 2).

Aunque ninguna de estas medidas es inamovible hay que tenerlas en cuenta a la hora de diseñar la propuesta, pues esos datos deben valorarse en función de la altura de la peana sobre la que se colocará la maqueta, establecida entre los 85 cms., para permitir un acceso táctil cómodo.

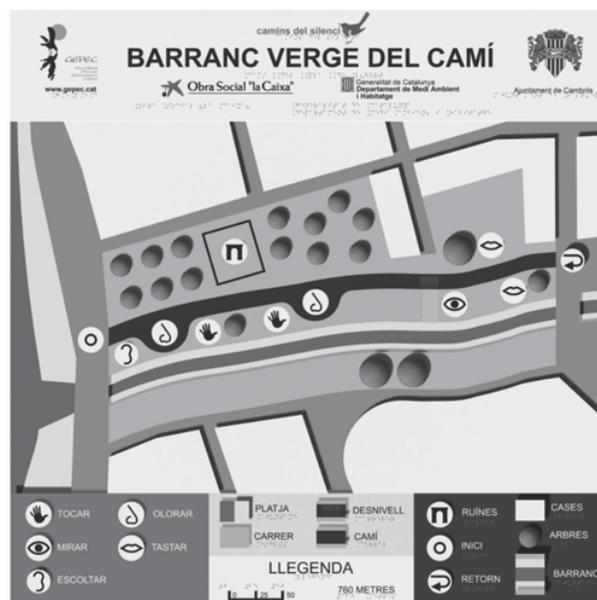


Figura 2.- Dibujo del panel de 80x80 cms. por medios informáticos.

### Material complementario

Como el objetivo final de la maqueta debe ser transmitir un concepto global del entorno, se incluye en la maqueta:

- Plano de situación:

Plano que dibuje de forma esquemática el trazado íntegro de todo el edificio, señalando en braille y en macrocaracteres los puntos de interés, con unas dimensiones aproximadas de 30x25, cuando en la maqueta, utilizando los recursos que se crean oportunos (tramos a distinta escala, empleo de varias texturas, colores y símbolos... etc.) se ha reflejado todas las partes del punto de interés. Esto facilitará, a través del tacto, una visión de conjunto de la obra.

- Volúmenes destacados:

Cuando se opta en la maqueta principal por resaltar una determinada parte del itinerario, eliminando o minimizando el resto, se emplea como recurso didáctico el añadir a la obra principal volúmenes donde se representen, a la escala que demanden unas dimensiones legibles al tacto, todas las partes debidamente señalizadas en braille y en macrocaracteres. Esto permite a los usuarios tener una información lo más completa posible sobre el entorno original.

- Iconos de los sentidos

Para indicar los puntos destacados donde se prestará atención con los sentidos, se incluyen los mismos en la maqueta principal con unos iconos en relieve. Por ejemplo: para indicar que el usuario debe prestar atención al tacto de un elemento vegetal (como puede ser la corteza de un tronco), se indicará el sentido del tacto con un icono de una mano. Ver detalle a continuación de la Figura 3 donde se muestran estos símbolos.



Figura 3.- Detalle del panel donde se incluyen iconos de los sentidos.

- Leyenda.

La superficie donde se coloca la información en braille y en macrocaracteres tiene una inclinación de unos 30° para facilitar la lectura.

La leyenda con la información debe incluir:

- Nombre destacados
- Lugar geográfico
- Escala
- Orientación
- Tipología de terreno

### Características del tacto.

Los puntos anteriores están en función de conseguir una maqueta lo más accesible posible; dado que la pieza debe ser accesible a través del tacto, además de la vista, es recomendable tener en cuenta las características de estos sentidos para que sirvan de referencia en la elaboración del proyecto y su posterior realización.

La visión es un sistema casi instantáneo, que obtiene información de un modo sintético, frente a la secuencia del tacto, que obtiene información de forma analítica, lo que constituye una de sus características fundamentales.

Al contrario de lo que ocurre con la vista, el tacto necesita el contacto físico directo con el objeto, lo que determina la elección

de los materiales que deben ser resistentes a la manipulación y fáciles de conservar.

La capacidad de identificar formas es bastante más pobre a través del tacto (la vista es el sentido especializado en captar la forma). La ausencia de visión requiere una mayor cantidad de tiempo para el reconocimiento de formas y espacios, lo que aconseja la simplificación justificada de los contenidos.

El tacto activo está especializado en la percepción de las propiedades de la superficie y la forma de los objetos como son: la textura, la temperatura y la dureza; por ello una pieza proporciona más información cuanto más rica es en texturas y más variados son los materiales empleados.

Aunque las características del sentido del tacto (necesidad de contacto directo, secuencia y parcialidad de la percepción) hacen que la accesibilidad física y conceptual dependan de factores personales, como la agudeza táctil (determinada tanto por la habilidad como por el entrenamiento) o el conocimiento previo, por ejemplo de la forma, son las características físicas y de la información disponible las que determinarán la mayor o menor calidad de la maqueta.

### Características físicas

- La forma:

Un objeto es distinguible de otro por la forma, el tamaño, el material y el color. La forma, sin embargo, es la principal característica de un objeto. Podemos distinguir una pelota de un cubo porque son formas diferentes; el material y el color son de importancia secundaria. Por lo tanto, las figuras complejas, implican un reconocimiento lento e impreciso, no pudiendo apreciarse bien la información que reflejan.

- El tamaño:

Los ciegos, a diferencia de los videntes, tienen grandes dificultades para formar imágenes mentales de objetos complejos cuando no pueden abarcar todo el conjunto de una sola vez; el tamaño ideal para las figuras en tres dimensiones es aquel que pueda ser abarcado con una o ambas manos. Esto debe ser tenido especialmente en cuenta cuando se plantean planos en relieve o maquetas de volúmenes.

- Las texturas:

La textura alude a la naturaleza de una superficie tal como es percibida por el tacto, abarcando la mayoría de las propiedades físicas del objeto, como la rugosidad, la elasticidad, la viscosidad, etc. Las distintas texturas facilitan el reconocimiento de los elementos; cuando el material es uniforme, por ejemplo una escultura totalmente realizada en mármol, precisa mucha más información externa para ser comprendida que otra más rica en texturas y contrastes.

- El contraste de colores:

Este tema es muy importante para los deficientes visuales, ya que la diferencia de luminancia, entre dos objetos o entre un objeto y el fondo, al aumentar el contraste, disminuye la luz necesaria para percibirlos.

### Información

Hay que tener en cuenta que percibir la forma, la superficie y el tamaño no es lo mismo que poder decir qué objeto es el representado. Mientras la vista suele reconocer una forma

independientemente de su tamaño, la identificación táctil encuentra dificultades cuando el objeto difiere de tamaño, tipo o profundidad.

Para poder identificar algo, se debe haber tenido una experiencia anterior del propio objeto o algo similar; cuando no es así hay que dotar a las piezas de señales de referencia que ayuden a comprender la estructura y las partes del objeto. Por ejemplo, la maqueta de un edificio es más fácilmente comprensible si está complementada con un plano en relieve de la planta o con la proyección ortogonal del edificio acompañados de un sistema de símbolos, números y/o letras que relacionen las partes del plano con las de la maqueta.

Entre las señales de referencia que deben acompañar a este tipo piezas deben incluirse: numeración, iconos, escalas, sistemas de orientación, información sonora y escrita.

### Fase de ejecución

Al igual que en la fase anterior, es muy importante la supervisión de un técnico en accesibilidad en la fase de ejecución, que supervise que las dimensiones, materiales y acabados definitivos son los adecuados.

Diseño del proyecto de ejecución de las mejoras de accesibilidad (en caso de que las instalaciones existieran con anterioridad) o del proyecto inicial en el cual se hayan integrado criterios de accesibilidad.

En esta fase es muy importante la elección de los materiales y acabados, ya que estos son fundamentales para la accesibilidad del espacio. Debemos ser especialmente cuidadosos en los materiales exteriores que van a estar sometidos a la intemperie y a posible vandalismo.

a) Definición de la geometría topográfica.

Se establece la escala gráfica para proceder a la síntesis geométrica que permitirá la mejor interpretación del itinerario. En la imagen de la Figura 4 se puede observar la ortofoto y el plano de líneas de nivel que serán tratados con procesos informatizados.

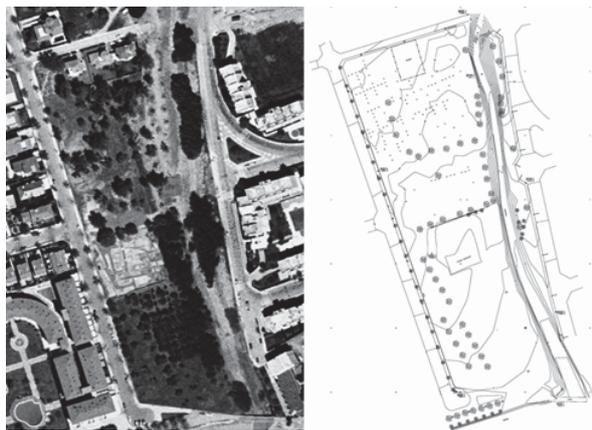


Figura 4.- Foto aérea del emplazamiento del itinerario y plano de líneas de nivel.

b) Elementos del panel.

El proceso continúa con la definición gráfica y volumétrica de los elementos del panel que deberán ser interpretados según los criterios anteriormente mencionados: plano de situación, volúmenes destacados, iconos y leyenda (Figura 5).

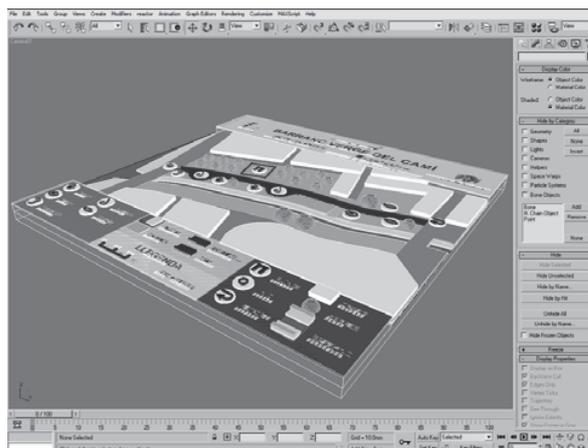


Figura 5.- Panel definitivo generado por medios informáticos.

c) Construcción del panel.

La elaboración material del panel se realiza con diversos procesos y materiales.

Las piezas principales se elaboran a partir de plantillas obtenidas del modelo digital como se puede observar en la Figura 6. Estos perfiles se obtienen por corte con técnica láser y se ensamblan manualmente para construir la base.



Figura 6.- Plantillas obtenidas del modelo digital.

d) Tipografía y textos en Braille.

La tipografía debe ser de un tamaño adecuado para la correcta lectura y además deben incorporarse los textos en alfabeto Braille.

Se opta por la opción de adherir al panel estos textos en diferentes soportes y con suficiente adherencia para evitar su degradación debido a actos vandálicos o provocados por efectos del mal tiempo.

### 5.3. COMPROBACIÓN DEL RESULTADO

#### Mantenimiento y conservación

Como ya hemos comentado con anterioridad, el mantenimiento y la conservación de los elementos es fundamental para permitir que un espacio siga siendo accesible. En los espacios exteriores, este hecho cobra especial importancia debido a la exposición continua a agentes externos y al vandalismo y por la posibilidad de que aparezcan en el itinerario elementos naturales que dificulten el paso como barro, arena, piedras, ramas, raíces en superficie, etc.

## 6. RESULTADOS

El resultado final se debe comprobar, aunque en los procesos preliminares se obtuvo el consejo y supervisión de profesionales en el ámbito del tratamiento con discapacitados.

Durante el proceso de elaboración de los diversos prototipos se pudo observar la respuesta a los diferentes tipos de material, color, forma y otros parámetros para determinar cuales eran los más apropiados.

Con toda seguridad, esta primera experiencia nos permitirá perfeccionar otros posibles proyectos.

La iniciativa tubo una respuesta muy positiva por parte de los usuarios que pueden disfrutar de un itinerario adaptado como puede observarse en la Figura 7.



Figura 7.- Personas con discapacidad psíquica manipulando el panel.

## 7. CONCLUSIONES

Más de tres millones y medio de españoles padecen algún tipo de discapacidad. Esto supone casi un 10% de la población.

Por otro lado, los Parques Nacionales Españoles son visitados por casi once millones de personas al año, muchas de las cuales tienen algún tipo de discapacidad.

Debido a la evolución demográfica de nuestra población se estima que el número de personas con discapacidad va a aumentar en los próximos años, al producirse un importante envejecimiento de la población.

Debemos tener en cuenta, además, que las personas con discapacidad cada vez demandan más actividades de ocio y tiempo libre, y en concreto, actividades en el medio natural.

Por lo tanto, son muchas las personas con discapacidad que se verían beneficiadas por la mejora de la accesibilidad de estos espacios. Además debemos tener en cuenta que unas instalaciones accesibles son más cómodas y seguras para todos.

El principal factor limitante de la eliminación de barreras en un espacio natural es que no debe suponer en ningún caso un riesgo para su conservación.

El Plan Director de la Red de Parques Nacionales (PDRPN), aprobado por el Real Decreto 1803 /1999, de 22 de Noviembre (BOE nº 297, de 13 de diciembre de 1999), establece las directrices con respecto a la accesibilidad de estos espacios.

Con la experiencia de este proyecto se puede decir que es posible una integración de los espacios naturales en los destinos para el ocio de todas aquellas personas que padecen alguna discapacidad.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

López Abril, M. Dña., Situación actual de la accesibilidad en equipamientos de educación ambiental y espacios verdes, Barcelona, 2006.

López Abril, M. Dña., Accesibilidad, Adaptabilidad y tipos de barreras, Barcelona, 2006.

Soto Pérez, Juan C.. Dña., Diseño de programas de actividades adaptados, Ponencia, Barcelona, 2006.

# OPTIMIZACIÓN DE LA ACCESIBILIDAD WEB A PARTIR DE LA EXPERIENCIA DE USO CON USUARIOS DISCAPACITADOS

*David Fonseca, GTM - Universitat Ramon Llull, fonsi@salle.url.edu*  
*Eva Villegas, GTM - Universitat Ramon Llull, evillegas@salle.url.edu*  
*Isidro Navarro, GTM - Universitat Ramon Llull, inavarro@salle.url.edu*  
*Marc Pifarré, GTM - Universitat Ramon Llull, mpifarre@salle.url.edu*  
*Xavier Sorribas, GTM - Universitat Ramon Llull, xsorribas@salle.url.edu*

**ABSTRACT:** La accesibilidad web, incluso la accesibilidad a espacios reales son conceptos ampliamente definidos en la mayoría de casos por expertos en el tema y habitualmente implementados por diseñadores o programadores habituados a este tipo de proyectos. Con este artículo y el conjunto de acciones que en él se referencian, pretendemos definir unos requisitos en el diseño de espacios tanto reales como virtuales que se adapten a las principales necesidades de usuarios con distintos tipos de discapacidad. El factor diferencial de este proyecto parte de la experimentación y trabajo usando diferentes líneas metodológicas con usuarios que tengan dificultades en la realización de tareas habituales en espacios WEB como en espacios reales. Así mismo el punto inicial del trabajo nace en la validación y estudio de entornos que a priori cumplen con las características teóricas de accesibilidad.

**Keywords:** accesibilidad, usabilidad, discapacidad, experiencia de usuario, integración, líneas metodológicas.

## INTRODUCCIÓN

Entendemos por accesibilidad la característica que permite que una página web o un entorno estén diseñados y/o programados para que sus contenidos y su navegación por los mismos estén fácilmente disponibles y adaptables para cualquier usuario independientemente de su perfil (edad, procedencia, estudios) o dificultad física.

En la actualidad podemos encontrar dos organizaciones que regulan las pautas de accesibilidad de manera global. Una de ellas es la OMS (Organización Mundial de la Salud [1]), quien tiene definida una clasificación de los tipos de discapacidades, así como una serie de recomendaciones para adaptar los entornos a las mismas. La otra organización mundial enmarcada en este caso en el ámbito tecnológico y de Internet es la W3C (World Wide Web Consortium) quien a partir de la WAI (Web Accessibility Initiative) ha definido unas pautas con requisitos que permiten crear páginas accesibles.

Se estima que existen millones de personas con diversos tipos de discapacidad [2], siendo por ejemplo en España un porcentaje cercano al 10% de la población [3] y que incluso en países del "1er mundo altamente desarrollados" como Estados Unidos este porcentaje se acerca al 20% [4]. Si nos centramos en el porcentaje de usuarios que utiliza habitualmente Internet, se estima que sobre el 10% de los mismos sufren algún tipo de discapacidad [5].

Actualmente, los diferentes tipos de discapacidades se analizan de forma única e independiente. Los principales tipos de discapacidades se basan en deficiencias visuales, auditivas, motrices y cognitivas o relacionadas con el lenguaje [1]. Pero por otro lado no podemos olvidarnos de otras discapacidades no "oficiales" como las derivadas de la tecnología (falta de acceso o equipamiento inadecuado) o la del desconocimiento de la tecnología (colectivo de personas de edad avanzada, medios rurales, etc.)

El objetivo de nuestro proyecto se basa en el trabajo conjunto con usuarios de diferente tipología (con discapacidades diferentes, sin discapacidad y usuarios expertos en las diferentes deficiencias pero sin ninguna discapacidad) para obtener unos requisitos de integración basados en la combinación de diversas metodologías de trabajo. La accesibilidad bien implementada permite una satisfacción aumentada en la experiencia de uso, tanto para usuarios con discapacidades como para usuarios sin ellas.

## MARCO DEL TRABAJO

En los últimos años el acceso a los contenidos por parte de personas con discapacidad es un tema recurrente, de máxima importancia y capaz de generar una documentación muy extensa.

El actual trabajo presentado forma parte de un proyecto amplio y multidisciplinar que pretende generar nuevos modelos en la gestión de la información que se adapten a los usuarios de